

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

30.06.2004

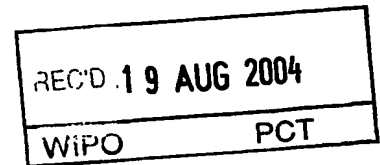
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 9 月 2 9 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 3 8 4 4 6
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 3 8 4 4 6]

出 願 人
Applicant(s): 株式会社ニコン

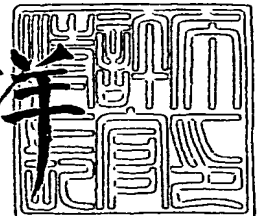


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 8 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 03-01215
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/027
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
 【氏名】 村松 研一
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
 【氏名】 小峯 典男
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
 【氏名】 谷津 修
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
 【氏名】 田中 裕久
【特許出願人】
 【識別番号】 000004112
 【氏名又は名称】 株式会社ニコン
【代理人】
 【識別番号】 100095256
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 山口 孝雄
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2002-351186
 【出願日】 平成14年12月 3日
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003-201079
 【出願日】 平成15年 7月24日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 033020
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9302511

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

直線偏光の光を供給する光源部を有し、該光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段を備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】

前記偏光状態切換手段は、前記被照射面を照明する光の偏光状態が直線偏光状態である場合に、直線偏光の偏光面を可変とすることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】

前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザとを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 4】

前記位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された 1/2 波長板を有することを特徴とする請求項 3 に記載の照明光学装置。

【請求項 5】

前記デポライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 6】

前記デポライザは、照明光路に対して挿脱自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 7】

前記デポライザは、照明光路中に固定的に位置決めされた水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 8】

前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 9】

前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成されていることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 10】

前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路中に固定的に位置決めされていることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 11】

前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 12】

前記デポライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 11 に記載の照明光学装置。

【請求項 13】

前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることを特徴とする請求項 11 に記載の照明光学装置。

【請求項 14】

前記偏光状態切換手段は、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための第 2 位相部材をさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 15】

前記第 2 位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された $1/4$ 波長板を有することを特徴とする請求項 14 に記載の照明光学装置。

【請求項 16】

前記光源部からの光束に基づいて前記被照射面に対してフーリエ変換の関係にある瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成するための面光源形成手段と、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更するための変更手段と、前記実質的な面光源からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 17】

前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項 16 に記載の照明光学装置。

【請求項 18】

結晶材料により形成された光透過部材を含む光学系において、

光照射を受けたときの前記光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向は、前記光透過部材への入射直線偏光の電界の振動方向とほぼ一致またはほぼ直交するように設定されていることを特徴とする光学系。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の光学系を備え、該光学系を介した光で被照射面を照明することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 20】

立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材を含み、該光透過部材を介した光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光透過部材における光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定されていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 21】

前記光透過部材は、光路中に固定的に位置決めされた光学部材を有し、

前記光学部材の光軸は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 22】

前記光透過部材は、プリズムを有し、

前記プリズムの入射面および射出面は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 23】

前記光透過部材は、プリズムを有し、

前記プリズムの入射面および射出面は結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 24】

前記光透過部材は、プリズムを有し、

前記プリズムの入射面および射出面のうちの一方の面は結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致し、且つ他方の面は結晶面 $\{100\}$ または結晶面 $\{211\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 25】

前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、

前記直角プリズムの反射面は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致し、且つ前記直角プリズムの入射面の光軸と前記直角プリズムの射出面の光軸とで張る平面は結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 26】

前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、

前記直角プリズムの反射面、および前記直角プリズムの入射面の光軸と前記直角プリズムの射出面の光軸とで張る平面はともに結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 27】

前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平板を有し、

前記平行平板の光軸は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 28】

前記平行平板は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ から結晶方位 $\langle 111 \rangle$ に向かう方向に傾斜可能であることを特徴とする請求項 27 に記載の照明光学装置。

【請求項 29】

前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平板を有し、

前記平行平板の光軸は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学装置。

【請求項 30】

前記平行平板は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に向かう方向に傾斜可能であることを特徴とする請求項 29 に記載の照明光学装置。

【請求項 31】

前記光透過部材は、第 1 軸線廻りに傾斜可能な第 1 平行平板と、前記第 1 軸線とはほぼ直交する第 2 軸線廻りに傾斜可能な第 2 平行平板とを有することを特徴とする請求項 27 乃至 30 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 32】

光照射を受けたときの前記光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向は、前記光透過部材への入射直線偏光の電界の振動方向とほぼ一致またはほぼ直交するように設定されていることを特徴とする請求項 20 乃至 31 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 33】

請求項 1 乃至 17 および請求項 19 乃至 32 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を備え、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 34】

前記変更手段は、前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも

一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項 3 3 に記載の露光装置。

【請求項 3 5】

請求項 1 乃至 1 7 および請求項 1 9 乃至 3 2 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法。

【請求項 3 6】

第 1 面に配置されるマスクのパターンを、第 2 面に配置される感光性基板上に露光する露光方法において、

直線偏光の光を供給する第 1 工程と、

前記第 1 工程によって供給された光に基づいて前記マスクを照明する第 2 工程と、

前記第 2 工程によって照明された前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する第 3 工程と、

前記第 2 面上での光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える第 4 工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 3 7】

前記第 4 工程は、直線偏光の偏光面を可変とする工程を含むことを特徴とする請求項 3 6 に記載の露光方法。

【請求項 3 8】

前記マスクに対してフーリエ変換の関係にある照明瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成し、

前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項 3 5 乃至 3 7 のいずれか 1 項に記載の露光方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】照明光学装置、露光装置および露光方法

【技術分野】

【0001】

本発明は照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレートとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

【0003】

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

そこで、フライアイレンズの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシ σ （ σ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは σ 値＝照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状や4極状の二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述のような従来の露光装置では、マスクのパターン特性に応じて、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明を行ったり、輪帯状や4極状の二次光源に基づく変形照明（輪帯照明や4極照明）を行ったりしている。しかしながら、マスクのパターン特性に応じてマスクを照明する光の偏光状態を変化させることはなく、非偏光状態の光でマスクを照明するのが通常であり、マスクのパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件を必ずしも実現することができない。

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば露光装置に搭載された場合に、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させる照明光学装置を用いて、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、直線偏光の光を供給する光源部を有し、該光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0008】

第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、前記被照射面を照明する

光の偏光状態が直線偏光状態である場合に、直線偏光の偏光面を可変とする。また、前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザとを有することが好ましい。この場合、前記位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/2波長板を有することが好ましい。

【0009】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記デポライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有する。あるいは、前記デポライザは、照明光路に対して挿脱自在に構成された水晶プリズムを有することが好ましい。あるいは、前記デポライザは、照明光路中に固定的に位置決めされた水晶プリズムを有することが好ましい。

【0010】

さらに、第1形態の好ましい態様によれば、前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されている。

【0011】

あるいは、前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成されていることが好ましい。

【0012】

あるいは、前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路中に固定的に位置決めされていることが好ましい。

【0013】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザを有する。この場合、前記デポライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することが好ましい。あるいは、前記デポライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることが好ましい。

【0014】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための第2位相部材をさらに有する。この場合、前記第2位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/4波長板を有することが好ましい。

【0015】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記光源部からの光束に基づいて前記被照射面に対してフーリエ変換の関係にある瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成するた

めの面光源形成手段と、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更するための変更手段と、前記実質的な面光源からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とをさらに備えている。この場合、前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることが好ましい。

【0016】

本発明の第2形態では、結晶材料により形成された光透過部材を含む光学系において、光照射を受けたときの前記光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向は、前記光透過部材への入射直線偏光の電界の振動方向とほぼ一致またはほぼ直交するように設定されていることを特徴とする光学系を提供する。

【0017】

本発明の第3形態では、第2形態の光学系を備え、該光学系を介した光で被照射面を照明することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0018】

本発明の第4形態では、立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材を含み、該光透過部材を介した光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光透過部材における光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0019】

第4形態の好ましい態様によれば、前記光透過部材は、光路中に固定的に位置決めされた光学部材を有し、前記光学部材の光軸は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定されている。また、第4形態では、前記光透過部材は、プリズムを有し、前記プリズムの入射面および射出面は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。あるいは、前記光透過部材は、プリズムを有し、前記プリズムの入射面および射出面は結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。あるいは、前記光透過部材は、プリズムを有し、前記プリズムの入射面および射出面のうちの一方の面は結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致し且つ他方の面は結晶面 $\{100\}$ または結晶面 $\{211\}$ にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。

【0020】

また、第4形態の好ましい態様によれば、前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、前記直角プリズムの反射面は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致し、且つ前記直角プリズムの入射面の光軸と前記直角プリズムの射出面の光軸とで張る平面は結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定されている。あるいは、前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、前記直角プリズムの反射面、および前記直角プリズムの入射面の光軸と前記直角プリズムの射出面の光軸とで張る平面はともに結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。

【0021】

また、第4形態の好ましい態様によれば、前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平板を有し、前記平行平板の光軸は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定されている。この場合、前記平行平板は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ から結晶方位 $\langle 111 \rangle$ に向かう方向に傾斜可能であることが好ましい。

【0022】

また、第4形態の好ましい態様によれば、前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平板を有し、前記平行平板の光軸は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ にほぼ一致するように設定されている。この場合、前記平行平板は、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に向かう方向に傾斜可能であることが好ましい。

【0023】

また、第4形態の好ましい態様によれば、前記光透過部材は、第1軸線廻りに傾斜可能な第1平行平板と、前記第1軸線とほぼ直交する第2軸線廻りに傾斜可能な第2平行平板とを有する。また、第4形態では、光照射を受けたときの前記光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向は、前記光透過部材への入射直線偏光の電界の振動方向とほぼ一致またはほぼ直交するように設定されていることが好ましい。

【0024】

本発明の第5形態では、第1形態、第3形または態第4形態の照明光学装置を備え、マスクのパターンを前記被照射面に配置された感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記変更手段は、前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることが好ましい。

【0025】

本発明の第6形態では、第1形態、第3形または態第4形態の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0026】

本発明の第7形態では、第1面に配置されるマスクのパターンを、第2面に配置される感光性基板上に露光する露光方法において、

直線偏光の光を供給する第1工程と、

前記第1工程によって供給された光に基づいて前記マスクを照明する第2工程と、

前記第2工程によって照明された前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する第3工程と、

前記第2面上での光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える第4工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記第4工程は、直線偏光の偏光面を可変とする工程を含むことが好ましい。

【0027】

第6形態および第7形態の好ましい態様によれば、前記マスクに対してフーリエ変換の関係にある照明瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成し、

前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える。

【発明の効果】

【0028】

本発明の照明光学装置では、たとえば1/2波長板とデポライザ（非偏光化素子）とからなる偏光状態切換手段の作用により、被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができる。したがって、たとえば露光装置に本発明の照明光学装置を搭載した場合、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができる。

【0029】

また、本発明の照明光学装置を用いる露光装置および露光方法では、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができるので、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示

す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、照明光学装置が輪帯照明を行うように設定されている。

【0031】

本実施形態の露光装置は、露光光（照明光）を供給するためのレーザ光源1を備えている。レーザ光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源や193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源などを用いることができる。レーザ光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形形状の断面を有し、一对のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダ2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダ2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。

【0032】

整形光学系としてのビームエキスパンダ2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、位相部材10、デポライザ（非偏光化素子）20、および回折光学素子4を介して、アフォーカルズームレンズ5に入射する。位相部材10およびデポライザ20の構成および作用については後述する。一般に、回折光学素子は、基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4は、矩形形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファースフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

【0033】

したがって、回折光学素子4を介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳位置に円形状の光強度分布、すなわち円形状の断面を有する光束を形成する。回折光学素子4は、照明光路から退避可能に構成されている。アフォーカルズームレンズ5は、アフォーカル系（無焦点光学系）を維持しながら所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。アフォーカルズームレンズ5を介した光束は、輪帯照明用の回折光学素子6に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4の発散原点と回折光学素子6の回折面とを光学的にはほぼ共役に結んでいる。そして、回折光学素子6の回折面またはその近傍の面の一点に集光する光束の開口数は、アフォーカルズームレンズ5の倍率に依存して変化する。

【0034】

輪帯照明用の回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファースフィールドにリング状の光強度分布を形成する機能を有する。回折光学素子6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ4極照明用の回折光学素子60や円形照明用の回折光学素子61やX方向2極照明用の回折光学素子62やY方向2極照明用の回折光学素子63と切り換え可能に構成されている。4極照明用の回折光学素子60、円形照明用の回折光学素子61、X方向2極照明用の回折光学素子62、およびY方向2極照明用の回折光学素子63の構成および作用については後述する。

【0035】

回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7に入射する。ズームレンズ7の後側焦点面の近傍には、マイクロレンズアレイ（またはフライアイレンズ）8の入射面が位置決めされている。マイクロレンズアレイ8は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

【0036】

ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成す

る各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ（微小屈折面）が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレートである。

【0037】

上述したように、回折光学素子4を介してアフォーカルズームレンズ5の瞳位置に形成される円形状の光強度分布からの光束は、アフォーカルズームレンズ5から射出された後、様々な角度成分を有する光束となって回折光学素子6に入射する。すなわち、回折光学素子4は、角度光束形成機能を有するオプティカルインテグレートを構成している。一方、回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドにリング状の光強度分布を形成する光束変換素子としての機能を有する。したがって、回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7の後側焦点面に（ひいてはマイクロレンズアレイ8の入射面に）、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。

【0038】

マイクロレンズアレイ8の入射面に形成される輪帯状の照野の外径は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。このように、ズームレンズ7は、回折光学素子6とマイクロレンズアレイ8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。マイクロレンズアレイ8に入射した光束は二次元的に分割され、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面には、図2(a)に示すように、入射光束によって形成される照野と同じ輪帯状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。

【0039】

マイクロレンズアレイ8の後側焦点面に形成された輪帯状の二次光源からの光束は、コンデンサー光学系9の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面（XY平面）内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

【0040】

本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率が変わると、輪帯状の二次光源の中心高さ（円形状の中心線の光軸AXからの距離） d_0 が変わることなく、その幅（外径（直径）と内径（直径）との差の $1/2$ ） w_0 だけが変化する。すなわち、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、輪帯状の二次光源の大きさ（外径）およびその形状（輪帯比：内径／外径）をともに変更することができる。

【0041】

また、ズームレンズ7の焦点距離が変わると、輪帯状の二次光源の輪帯比が変わることなく、中心高さ d_0 およびその幅 w_0 がともに変化する。すなわち、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、輪帯状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。以上より、本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、輪帯状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0042】

なお、回折光学素子6に代えて回折光学素子60を照明光路中に設定することによって4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子60は、平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子60を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、図2(b)に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

【0043】

4極照明においても輪帯照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、4極状の二次光源の外径（4つの円形状の面光源に外接する円の直径） D_o および輪帯比（4つの円形状の面光源に内接する円の直径 D_i / 4つの円形状の面光源に外接する円の直径 D_o ）をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、4極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0044】

また、回折光学素子4を照明光路から退避させるとともに、回折光学素子6または60に代えて円形照明用の回折光学素子61を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。この場合、アフォーカルズームレンズ5には光軸AXに沿って矩形状の断面を有する光束が入射する。アフォーカルズームレンズ5に入射した光束は、その倍率に応じて拡大または縮小され、矩形状の断面を有する光束のまま光軸AXに沿ってアフォーカルズームレンズ5から射出され、回折光学素子61に入射する。

【0045】

ここで、円形照明用の回折光学素子61は、回折光学素子4と同様に、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子61により形成された円形光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8の入射面において光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。この場合、アフォーカルズームレンズ5の倍率またはズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の外径を適宜変更することができる。

【0046】

さらに、回折光学素子6、60または61に代えて回折光学素子62を照明光路中に設定することによってX方向2極照明を行うことができる。X方向2極照明用の回折光学素子62は、平行光束が入射した場合に、そのファーフールドに、X方向に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子62を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてX方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(a)に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じX方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

【0047】

また、回折光学素子6、60、61または62に代えて回折光学素子63を照明光路中に設定することによってY方向2極照明を行うことができる。Y方向2極照明用の回折光学素子63は、平行光束が入射した場合に、そのファーフールドに、Z方向（マスク上およびウェハ上においてY方向に対応）に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子63を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてZ方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(b)に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じZ方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

【0048】

2極照明においても4極照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、2極状の二次光源の外径（2つの円形状の面光源に外接する円の直径） d_o および輪帯比（2つの円形状の面光源に内接する円の直径 d_i / 2つの円形状の面光源に外接する円の直径 d_o ）をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、2極状の二次光源の輪帯比を変更することなくその

外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、2極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0049】

図4は、図1の位相部材およびデポライザの構成を概略的に示す図である。図4を参照すると、位相部材10は、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/2波長板により構成されている。一方、デポライザ20は、楔形状の水晶プリズム20aと、この水晶プリズム20aと相補的な形状を有する楔形状の石英プリズム20bとにより構成されている。水晶プリズム20aと石英プリズム20bとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。レーザ光源1としてKrFエキシマレーザ光源またはArFエキシマレーザ光源を用いている場合、1/2波長板10には直線偏光の光が入射する。

【0050】

1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換（非偏光化）される。

【0051】

本実施形態では、デポライザ20が照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

【0052】

本実施形態では、上述したように、レーザ光源1からの直線偏光の光が1/2波長板10に入射するが、以下の説明を簡単にするために、P偏光の光が1/2波長板10に入射するものとする。デポライザ20を照明光路中に位置決めした場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

【0053】

水晶プリズム20aを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズム20bを介して、非偏光状態でマスクM（ひいてはウェハW）を照明する。一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変換し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するS偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して、非偏光状態でマスクMを照明する。

【0054】

これに対し、デポライザ20を照明光路から退避させた場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、P偏光状態の光でマスクMを照明する。一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化してS偏光の光になり、S偏光状態の光でマスクMを照明する。

【0055】

以上のように、本実施形態では、デポライザ20を照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態でマスクMを照明することができる。また、デポライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、P偏光状態でマスクMを照明することができる。さらに、デポライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、S偏光状態でマスクMを照明することができる。

【0056】

換言すれば、本実施形態では、1/2波長板10とデポライザ20とからなる偏光状態切換手段の作用により、被照射面としてのマスクM（ひいてはウェハW）を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換える（直線偏光の偏光面を可変とする）ことができる。その結果、本実施形態では、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができるので、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

【0057】

具体的には、たとえばX方向2極照明に設定するとともに、マスクM上においてX方向に沿って偏光面を有する直線偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のクリティカルレイヤにおけるX方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。次いで、たとえばY方向2極照明に切り換えるとともに、マスクM上においてY方向に沿って偏光面を有する直線偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上の同じクリティカルレイヤにおけるY方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。

【0058】

さらに、クリティカルレイヤにおける二重露光が終了した後に、たとえば2極照明のままで、あるいは4極照明や輪帯照明や円形照明に切り換えるとともに、非偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のノンクリティカルレイヤ（ミドルレイヤまたはラフレイヤ）における線幅の比較的大きい二次元パターンを高スループットで露光することができる。ただし、これは一例であって、一般的には、マスクMのパターン特性に応じて、二次光源の適切な形状または大きさを設定し、且つマスクMを照明する光を適切な偏光状態に設定することにより、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

【0059】

実際に、P偏光の光線が斜入射する場合とS偏光の光線が斜入射する場合とでは、ウェハW上に形成されたレジスト層の表面における散乱が異なる。具体的には、S偏光の方がP偏光よりも反射率が高く、したがってP偏光の方がS偏光よりもレジスト層の内部へ深く達する。このようなレジスト層に対するP偏光とS偏光との光学特性の相違を利用し、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現すれば、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができることになる。

【0060】

なお、上述の実施形態では、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材としての1/2波長板10を光源側に配置し、入射する直線偏光の光を必

要に応じて非偏光化するためのデポライザ20をマスク側に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、デポライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0061】

また、上述の実施形態では、水晶プリズム20aを介した光の進行方向を補償するためのコンペンセータとして石英プリズム20bを用いている。しかしながら、これに限定されることなく、K r Fエキシマレーザ光やA r Fエキシマレーザ光に対して耐久性の高い光学材料、たとえば水晶や蛍石などにより形成された楔形状のプリズムをコンペンセータとして用いていることもできる。この点は、他の関連する変形例においても同様である。

【0062】

図5は、第1変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図5の第1変形例にかかる偏光状態切換手段は、図4の実施形態にかかる偏光状態切換手段と類似の構成を有する。しかしながら、図4の実施形態ではデポライザ20が照明光路に対して挿脱自在に構成されているのに対し、図5の第1変形例ではデポライザ20を構成する水晶プリズム20aと石英プリズム20bとが一体的に光軸AXを中心として回転自在に構成され、ひいては水晶プリズム20aの結晶光学軸が光軸AXを中心として回転自在に構成されている点が基本的に相違している。以下、図4の実施形態との相違点に着目して、図5の第1変形例を説明する。

【0063】

第1変形例では、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。このとき、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。また、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0064】

一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。このとき、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。一方、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するS偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

【0065】

以上のように、図5の第1変形例では、1/2波長板10の光軸AX廻りの回転と水晶プリズム20aの光軸AX廻りの回転との組み合わせにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図5の第1変形例においても、1/2波長板10を光源側に配置し且つデポライザ20をマスク側に配置しているが、デポライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0066】

図6は、第2変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図6の第2変形例にかかる偏光状態切換手段は、図4の実施形態にかかる偏光状態切換手段と類

似の構成を有する。しかしながら、図4の実施形態ではデポライザ20が照明光路に対して挿脱自在に構成されているのに対し、図6の第2変形例ではデポライザ20が照明光路中に固定的に位置決めされている点が基本的に相違している。以下、図4の実施形態との相違点に着目して、図6の第2変形例を説明する。

【0067】

第2変形例では、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされている。したがって、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0068】

また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するS偏光の偏光面に対しても0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

【0069】

さらに、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定すると、前述したように、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過するP偏光成分と偏光面が90度だけ変化したS偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換されて、水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光成分の偏光面に対してもS偏光成分の偏光面に対しても0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光成分もS偏光成分も偏光面が変化することなく通過し、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。

【0070】

以上のように、図6の第2変形例では、デポライザ20を照明光路中に固定的に位置決めした状態で1/2波長板10を光軸AX廻りに適宜回転させることにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図6の第2変形例においても、1/2波長板10を光源側に配置し且つデポライザ20をマスク側に配置しているが、デポライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0071】

図7は、第3変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図7の第3変形例にかかる偏光状態切換手段は、図5の第1変形例にかかる偏光状態切換手段と類似の構成を有する。しかしながら、図5の第1変形例では偏光状態切換手段が1/2波長板10とデポライザ20とにより構成されているのに対し、図7の第3変形例では偏光状態切換手段が光軸AXを中心として回転自在なデポライザ20のみにより構成されている点が基本的に相違している。以下、図5の第1変形例との相違点に着目して、図7の第3変形例を説明する。

【0072】

第3変形例では、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。一方、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または9

0度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0073】

以上のように、図7の第3変形例では、水晶プリズム20aを光軸AX廻りに適宜回転させることにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図7の第3変形例では、デポライザ20を光軸AX廻りに回転自在に構成するとともに照明光路に対して挿脱自在に構成し、デポライザ20を照明光路から退避させることによりP偏光状態でマスクMを照明するように設定しても、同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0074】

図8は、変形例にかかるデポライザの構成を概略的に示す図である。上述の実施形態および第1変形例～第3変形例では、デポライザ20が水晶プリズム20aを有する構成を採用しているが、図8の変形例に示すように、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とによりデポライザ21を構成することもできる。図8を参照すると、デポライザ21は、照明光路中に配置された偏光ビームスプリッター21aを備えている。偏光ビームスプリッター21aに入射した光のうち、P偏光の光(図中においてその偏光方向を両矢印で示す)は偏光ビームスプリッター21aを透過する。

【0075】

一方、S偏光の光(図中においてその偏光方向を点で示す)は、偏光ビームスプリッター21aで反射された後、4つの反射鏡21b～21eにより構成された反射系の作用により、図8の紙面に平行な平面内において4回だけ反射されて偏光ビームスプリッター21aに戻る。ここで、反射系(21b～21e)は、偏光ビームスプリッター21aを透過したP偏光の光の光路と偏光ビームスプリッター21aで最終的に反射されたS偏光の光の光路とがほぼ一致するように構成されている。こうして、偏光ビームスプリッター21aを透過したP偏光の光と偏光ビームスプリッター21aで最終的に反射されたS偏光の光とはほぼ同一の光路に沿ってデポライザ21から射出される。ただし、S偏光の光はP偏光の光に対して反射系(21b～21e)の光路長だけ遅延される。

【0076】

偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とにより構成されたデポライザ21は、水晶プリズム20aと石英プリズム20bとにより構成されたデポライザ20と基本的に等価な光学的作用を有する。したがって、実施形態および第1変形例～第3変形例におけるデポライザ20を、図8の変形例にかかるデポライザ21で置換することができる。すなわち、図4の実施形態にデポライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを、照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成することになる。

【0077】

また、図5の第1変形例または図7の第3変形例にデポライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを、光軸AXを中心として一体的に回転自在に構成することになる。さらに、図6の第2変形例にデポライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを照明光路中に固定的に位置決めすることになる。

【0078】

図8の変形例にかかるデポライザ21では、反射系(21b～21e)の光路長を照明光(露光光)の可干渉距離よりも実質的に大きく設定することにより、マスクMを照明するレーザ光のコヒーレンシー(干渉性)の低減を図り、ひいてはウェハW上におけるスベックルのコントラストの低減を図ることができる。なお、偏光ビームスプリッターと反射系とを備えて本発明に適用可能なデポライザの詳細な構成およびその様々な変形例については、たとえば特開平11-174365号公報、特開平11-312631号公報、特開2000-223396号公報などを参照することができる。

【0079】

図9は、図1において光源と偏光状態切換手段との間に配置されるビームマッチングユニットの内部構成を概略的に示す図である。図9に示すビームマッチングユニットBMUにおいて、レーザ光源1（例えばKrFエキシマレーザ光源またはArFエキシマレーザ光源）から供給された平行ビームは、一対の偏角プリズム31および平行平板32を介した後に、ビームエキスパンダ2に入射する。レーザ光源1は、たとえば下階の床版A上に設置されている。

【0080】

ここで、一対の偏角プリズム31のうちの少なくとも一方は、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。したがって、一対の偏角プリズム31を光軸AX廻りに相対回転させることにより、光軸AXに対する平行ビームの角度を調整することができる。すなわち、一対の偏角プリズム31は、レーザ光源1から供給された平行ビームの光軸AXに対する角度を調整するためのビーム角度調整手段を構成している。また、平行平板32は、光軸AXに垂直な面内において直交する2つの軸線廻りに回転可能に構成されている。

【0081】

したがって、平行平板32を各軸線廻りに回転させて光軸AXに対して傾斜させることにより、平行ビームを光軸AXに対して平行移動させることができる。すなわち、平行平板32は、レーザ光源1から供給された平行ビームを光軸AXに対して平行移動させるためのビーム平行移動手段を構成している。こうして、一対の偏角プリズム31および平行平板32を介したレーザ光源1からの平行ビームは、ビームエキスパンダ2を介して所定の断面形状を有する平行ビームに拡大整形された後に、第1直角プリズム33に入射する。

【0082】

裏面反射鏡としての第1直角プリズム33によって鉛直方向に偏向された平行ビームは、同じく裏面反射鏡としての第2直角プリズム34～第5直角プリズム37で順次反射された後に、上階の床版Bの開口部を通過して第6直角プリズム38に入射する。図9に示すように、第2直角プリズム34～第5直角プリズム37は、第1直角プリズム33によって鉛直方向に偏向されて第6直角プリズム38に向かう平行ビームが、例えば純水供給用の配管や換気用の配管39などを迂回するように配置されている。

【0083】

裏面反射鏡としての第6直角プリズム38によって水平方向に偏向されたビームは、ハーフミラー40に入射する。ハーフミラー40で反射されたビームは、位置ずれ傾き検出系41に導かれる。一方、ハーフミラー40を透過したビームは、1/2波長板10とデポライザ20とからなる偏光状態切換手段42に導かれる。位置ずれ傾き検出系41では、偏光状態切換手段42に入射する（ひいてはオプティカルインテグレータとしての回折光学素子4に入射する）平行ビームの光軸AXに対する位置ずれおよび傾きが検出される。

【0084】

ところで、レーザ光源1として例えばArFエキシマレーザ光源を用いる場合、エネルギー密度の高い光の照射を受ける光透過部材に蛍石を用いて所要の耐久性を確保するのが一般的である。最近、本願発明者は、蛍石が、レーザ光の照射を受けて射出光の偏光状態を変動させる特性を有することを発見した。特に、真空紫外域での高出力レーザ光の照射を受ける際に偏光状態の変動が顕著であり、その変動量は蛍石の結晶方位によって異なる。具体的には、レーザ光の照射を受けて発生する偏光状態の変動は、レーザ光の照射開始から数十秒間の間に蛍石を通過した光の偏光状態が徐々に変動し、その後に射出光の偏光状態が定常状態に落ち着くという性状を有する。

【0085】

また、蛍石による偏光状態の変動は、レーザ光の照射を停止すると数十秒間で概ね復元するものである。したがって、蛍石へのレーザ照射と照射停止とを繰り返す場合、レーザ

照射を開始する度に蛍石を介した光の偏光状態の変動が発生することになる。蛍石で形成された光透過部材を介して入射直線偏光が楕円偏光に変化すると、上述の偏光状態切手段において水晶プリズム 20a が非偏光化素子として機能しなくなってしまう。また、露光装置においてセンサによる光量制御を行う場合も、偏光状態の変動はセンサに入射する光の偏光成分の比率自体を変えるため、正確な光量制御が困難になってしまう。

【0086】

図10は、蛍石の結晶方位について説明する図である。図10を参照すると、蛍石の結晶方位は、立方晶系の結晶軸 $a_1 a_2 a_3$ に基づいて規定される。すなわち、結晶軸 $+a_1$ に沿って結晶方位 $[100]$ が、結晶軸 $+a_2$ に沿って結晶方位 $[010]$ が、結晶軸 $+a_3$ に沿って結晶方位 $[001]$ がそれぞれ規定される。また、 $a_1 a_3$ 平面において結晶方位 $[100]$ および結晶方位 $[001]$ と45度をなす方向に結晶方位 $[101]$ が、 $a_1 a_2$ 平面において結晶方位 $[100]$ および結晶方位 $[010]$ と45度をなす方向に結晶方位 $[110]$ が、 $a_2 a_3$ 平面において結晶方位 $[010]$ および結晶方位 $[001]$ と45度をなす方向に結晶方位 $[011]$ がそれぞれ規定される。さらに、結晶軸 $+a_1$ 、結晶軸 $+a_2$ および結晶軸 $+a_3$ に対して等しい鋭角をなす方向に結晶方位 $[111]$ が規定される。図10では、結晶軸 $+a_1$ 、結晶軸 $+a_2$ および結晶軸 $+a_3$ で規定される空間における結晶方位のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶方位が規定される。

【0087】

なお、本願明細書中において、「ある結晶方位と結晶構造上等価な結晶方位」とは、ある結晶方位に対して、当該結晶方位の指数の順序を入れ替えた結晶方位と、さらにそれらの各指数の少なくとも一部についての符号を反転した結晶方位であり、例えばある結晶方位が $[uvw]$ である場合は、 $[uvw]$ 、 $[vuw]$ 、 $[vwu]$ 、 $[wuv]$ 、 $[wvu]$ 、 $[-uvw]$ 、 $[-uwx]$ 、 $[-vuw]$ 、 $[-vwu]$ 、 $[-wuv]$ 、 $[-wvu]$ 、 $[u-vw]$ 、 $[u-wv]$ 、 $[v-uw]$ 、 $[v-wu]$ 、 $[w-uv]$ 、 $[w-vu]$ 、 $[uv-w]$ 、 $[uw-v]$ 、 $[vu-w]$ 、 $[vw-u]$ 、 $[wu-v]$ 、 $[wv-u]$ 、 $[-u-vw]$ 、 $[-u-wv]$ 、 $[-u-v-w]$ 、 $[-u-w-v]$ 、 $[-v-uw]$ 、 $[-v-wu]$ 、 $[-v-u-w]$ 、 $[-v-w-u]$ 、 $[-w-uv]$ 、 $[-w-vu]$ 、 $[-w-u-v]$ 、 $[-w-v-u]$ 、 $[u-v-w]$ 、 $[u-w-v]$ 、 $[v-u-w]$ 、 $[v-w-u]$ 、 $[w-u-v]$ 、 $[w-v-u]$ 、 $[-u-v-w]$ 、 $[-u-w-v]$ 、 $[-v-u-w]$ 、 $[-v-w-u]$ 、 $[-w-u-v]$ 、 $[-w-v-u]$ が結晶構造上等価な結晶方位である。また、本願明細書では、結晶方位 $[uvw]$ およびこれと結晶構造上等価な結晶方位を結晶方位 $\langle uvw \rangle$ と表記している。また、結晶方位 $[uvw]$ およびこれと結晶構造上等価な結晶方位と直交する面、すなわち結晶面 (uvw) およびこれと結晶構造上等価な結晶面を結晶面 $\{uvw\}$ と表記している。

【0088】

本願発明者は、種々の実験および研究の結果、蛍石による偏光状態の変動が、実は蛍石自体の複屈折の変動に起因していることを発見した。また、蛍石における複屈折の変動量には個体差があるものの、現在入手可能なほぼ全ての蛍石結晶において、この複屈折の変動の現象が不可避であり、ひいては偏光状態の変動の現象が不可避であることを確認した。そこで、本発明では、上述の知見に基づき、蛍石から複屈折の変動自体を無くすることが実質的に不可能であるため、蛍石に入射する直線偏光の偏光状態の変動を極力抑えるような2つの手法を提案する。

【0089】

一般に、直線偏光からなる入射光は、複屈折のある媒質の中を通過することにより、入射光の進相軸成分と遅相軸成分との間に位相差が発生し、光は直線偏光から楕円偏光に変化する。図14は、直線偏光の入射光が複屈折性の媒質中を通過する際に光の偏光状態が変化する様子を示す図である。図14では、媒質の x 方向を進相軸方向とし、 y 方向を遅相軸方向とし、入射光の直線偏光の電界の振動方向が x 軸から y 軸方向へ角度 ϕ だけ傾い

た方向になるように入射する場合について考えている（図14（a）を参照）。

【0090】

電界の x 成分 E_x および y 成分 E_y は、電界の振幅の x 成分および y 成分を E_{x0} および E_{y0} とすると、以下の式（1）および（2）でそれぞれ表わされる。

$$E_x = E_{x0} \cdot \cos \{ \omega \cdot t - (2\pi/\lambda) \cdot (n_x \cdot d) \} \quad (1)$$

$$E_y = E_{y0} \cdot \cos \{ \omega \cdot t - (2\pi/\lambda) \cdot (n_y \cdot d) \} \quad (2)$$

【0091】

式（1）および（2）において、 ω は光の振動数であり、 t は時間であり、 λ は光の波長であり、 n_x は進相軸方向における媒質の屈折率であり、 n_y は遅相軸方向における媒質の屈折率であり、 d は媒質中の光路長である。媒質中では進相軸成分の屈折率 n_x と遅相軸成分の屈折率 n_y との間に差があるため、光が媒質中を進むにつれて進相軸成分と遅相軸成分との間の位相差が次第に大きくなる。図14において、（b）は位相差が $0 \sim \pi/2$ の時、（c）は位相差が $\pi/2$ の時、（d）は位相差が $\pi/2 \sim \pi$ の時、（e）は位相差が π の時の偏光状態にそれぞれ対応している。このように、蛍石のような媒質に直線偏光が入射した場合、その射出光の偏光状態は、楕円偏光を介して円偏光になり、あるいは円偏光を通り越して再び直線偏光になる可能性がある。

【0092】

ここで、図14を参照すると、入射直線偏光の電界の振動方向の角度 ϕ を $\phi = 0$ または $\phi = \pi/2$ に設定した場合、すなわち媒質（たとえば蛍石からなる光透過部材）の複屈折変動に関する進相軸方向と入射直線偏光の電界の振動方向とがほぼ一致またはほぼ直交するように設定した場合、入射直線偏光は媒質中において進相軸成分および遅相軸成分のいずれか一方の成分しか持たないことになる。その結果、進相軸成分と遅相軸成分との間に位相差は発生することなく、複屈折の変動にもかかわらず入射直線偏光は同じ直線偏光状態のまま維持されて射出されることになる。

【0093】

つまり、本発明の第1の手法では、たとえば蛍石のような結晶材料により形成された光透過部材を含む光学系において、光照射を受けたときの光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向を確認する。そして、光透過部材への入射直線偏光の電界の振動方向と光透過部材の複屈折変動に関する進相軸方向とがほぼ一致またはほぼ直交するように設定することにより、複屈折変動の偏光状態変動に対する影響を最低限に抑え、光透過部材に入射する直線偏光の偏光状態変動を極力抑えることができる。

【0094】

また、本願発明者は、測定結果と応力複屈折の考察（テンソルによる考察で、光軸に垂直な応力成分が対称であると仮定して計算）とから、複屈折の変動には結晶方位依存性が見込まれることを確認した。以下、複屈折変動の結晶方位依存性について説明する。図15は、図10に対応する図であって、蛍石の結晶方位を別の表現方法にしたがって説明する図である。図16は、結晶方位を $[001]$ と $[110]$ との間で変化させて当該結晶方位に沿って A r F エキシマレーザ光を入射させたときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。

【0095】

また、図17は、結晶方位を $[001]$ と $[100]$ との間で変化させて当該結晶方位に沿って A r F エキシマレーザ光を入射させたときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。また、図18は、図16に対応する図であって、入射光のエネルギー密度が極めて高いときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。図16（b）、図17（b）および図18（b）において、横軸は A r F エキシマレーザ光が入射する結晶方位を、縦軸は複屈折変動量をそれぞれ示している。

【0096】

図16を参照すると、結晶方位を $[001]$ から $[111]$ を経て $[110]$ へ変化させた場合、結晶方位 $[001]$ および結晶方位 $[111]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $[110]$ の方向に光を入射させると複屈折変動

量が最大になることがわかる。すなわち、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になることがわかる。

【0097】

図17を参照すると、結晶方位を $[001]$ から $[101]$ を経て $[100]$ へ変化した場合、結晶方位 $[001]$ および結晶方位 $[100]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $[101]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になることがわかる。すなわち、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になることがわかる。

【0098】

図18を参照すると、結晶方位を $[001]$ から $[111]$ を経て $[110]$ へ変化した場合、結晶方位 $[111]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $[001]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量がある程度大きくなり、結晶方位 $[110]$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になることがわかる。すなわち、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が非常に小さくなり、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量がある程度大きくなり、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になることがわかる。

【0099】

以上のように、図16および図17を参照すると、蛍石結晶において、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量が最大になり、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向に光を入射させると複屈折変動量がほとんど認められなくなることがわかる。ただし、図18を参照すると、入射光のエネルギー密度が極めて高い場合や、蛍石の照射エリアに大きな異方性が存在する場合（蛍石の光吸収による大きな内部応力の発生、回転非対称な断面を有する光束の入射などによる）等には、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向に光を入射させてもある程度の複屈折変動量が認められるようになることがわかる。

【0100】

そこで、本発明の第2の手法では、たとえば蛍石のような立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材を介した光で被照射面を照明する照明光学装置において、当該光透過部材における光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定する。その結果、当該光透過部材における複屈折変動量の発生を小さく抑え、ひいては光透過部材に入射する直線偏光の偏光状態の変動を極力抑えることができる。なお、第1の手法と第2の手法とを併用して本発明の効果をさらに良好に発揮することもできる。

【0101】

本実施形態では、レーザ光源1と偏光状態切換手段42との間の光路中に配置されて蛍石により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定している。具体的には、ビームエキスパンダ2を構成するレンズ成分(2a, 2b)のように光路中に固定的に位置決めされた光学部材が蛍石により形成されている場合、その光学部材の光軸が結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定している。

【0102】

この場合、レーザ光が結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ沿って透過するので、レンズ成分(2a, 2b)を透過する直線偏光の偏光状態は実質的に変化しない。同様に、一对の偏角プリズム31が蛍石により形成されている場合も、その光軸が結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定することにより、透過する直線偏光の偏光状態の変化を実質的に回避することができる。

【0103】

また、裏面反射鏡としての直角プリズム33~38が蛍石により形成されている場合、図19に示すように、直角プリズム33~38の入射面および射出面が結晶面 $\{100\}$

にはほぼ一致するように設定し、且つ直角プリズム 33~38 の反射面が結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定している。この場合、直角プリズム 33~38 の側面（厳密には入射面の光軸と射出面の光軸とで張る平面）は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致することになる。図 19 の構成では、レーザ光が結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ沿って透過するので、直角プリズム 33~38 を透過する直線偏光の偏光状態は実質的に変化しない。

【0104】

また、図 20 に示すように、直角プリズムの入射面および射出面のうちの一方の面が結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致し、且つ他方の面が結晶面 $\{211\}$ にほぼ一致するように設定することもできる。この場合、直角プリズムの側面（厳密には入射面の光軸と射出面の光軸とで張る平面）は結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致することになる。そして、結晶面 $\{211\}$ にほぼ一致する面の光軸（結晶方位 $\langle 211 \rangle$ ）が結晶方位 $\langle 111 \rangle$ にある程度近くなるので、直角プリズムを透過する直線偏光の偏光状態の変化を良好に抑えることができる。

【0105】

また、図 21 に示すように、直角プリズムの反射面が結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致し、且つ直角プリズムの側面（厳密には入射面の光軸と射出面の光軸とで張る平面）が結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定することもできる。また、図 22 に示すように、直角プリズムの反射面および直角プリズムの側面（厳密には入射面の光軸と射出面の光軸とで張る平面）がともに結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定することもできる。これらの場合、直角プリズムの入射面および射出面の光軸が結晶方位 $\langle 111 \rangle$ にある程度近くなるので、直角プリズムを透過する直線偏光の偏光状態の変化を良好に抑えることができる。

【0106】

なお、図 19~図 22 を参照して直角プリズムに関する説明を行ったが、一般のプリズムにおいても、その入射面および射出面が結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致するように設定したり、その入射面および射出面が結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致するように設定したりすることが好ましい。また、プリズムの入射面および射出面のうちの一方の面が結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致し且つ他方の面が結晶面 $\{100\}$ または結晶面 $\{211\}$ にほぼ一致するように設定することが好ましい。

【0107】

また、光路中において光軸 AX に対して傾斜可能に設けられて光軸 AX に沿って入射する光線を平行移動させるビーム平行移動手段としての平行平板 32 が蛍石により形成されている場合、平行平板 32 の光軸が結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致するように設定している。これは、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ と結晶方位 $\langle 110 \rangle$ とが約 35 度の角度をなしているのに対し、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ と結晶方位 $\langle 110 \rangle$ とが 45 度の角度をなしているためである。この点は、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向から見た各結晶方位の配置を説明する図 23 および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向から見た各結晶方位の配置を説明する図 24 を参照すると明らかである。

【0108】

平行平板 32 の光軸を結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致させた場合、すなわちその光学面を結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致させた場合、図 23 に示すように、どちらの側へ傾斜させても結晶方位 $\langle 100 \rangle$ から約 55 度程度で結晶方位 $\langle 111 \rangle$ に近づく傾斜方向（図 23 中、左上-右下または左下-右上の方向）が存在する。このように、平行平板 32 の光軸を結晶方位 $\langle 100 \rangle$ にほぼ一致させ、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ から結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向に沿って両側へ傾斜させれば、平行平板 32 を光軸 AX に対して最大限に（たとえば 30 度程度）傾斜させても、その内部を通過するレーザ光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ からある程度離れた状態を確保することができる。その結果、その姿勢に関わらず平行平板 32 を透過する直線偏光の偏光状態の変化を良好に抑えることができる。

【0109】

一方、平行平板 32 の光軸を結晶方位 $\langle 111 \rangle$ にほぼ一致させた場合、すなわちそ

の光学面を結晶面 $\{111\}$ にほぼ一致させた場合、図 24 に示すように、一方の側へ傾斜させると結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から約 55 度程度で結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近付き、他方の側へ傾斜させると結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から約 35 度程度で結晶方位 $\langle 110 \rangle$ に近づく。この場合、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向に沿って一方の側（図 24 中、中央から右上、中央から左上、または中央から真下の方向）へ大きく傾斜させ、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の方向に沿って他方の側（図 24 中、中央から左下、中央から右下、または中央から真上の方向）へ全く傾斜させない（あるいは少ししか傾斜させない）構成を採用すれば、傾斜に際してその内部を通過するレーザ光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ からある程度離れた状態を確保することができる。その結果、その姿勢に関わらず平行平板 32 を透過する直線偏光の偏光状態の変化を良好に抑えることができる。

【0110】

なお、ビーム平行移動手段では、光線を二軸で平行移動させるために、第 1 軸線廻りに傾斜可能な第 1 平行平板と、第 1 軸線とはほぼ直交する第 2 軸線廻りに傾斜可能な第 2 平行平板とを有するのが一般的である。この場合、それぞれの平行平板に対して、本発明の第 2 手法を（必要に応じて第 1 手法も）適用することが好ましい。

【0111】

なお、上述の説明では、レーザ光源 1 と偏光状態切換手段 42 との間の光路中に配置された光透過部材を透過する直線偏光の偏光状態の変化を回避するために、光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定している。しかしながら、これに限定されることなく、さらに偏光状態切換手段 42 と被照射面であるマスク M（ひいてはウェハ W）との間の光路中に配置された光透過部材に対しても同様の設定を行うことにより、照明光路の全体に亘って蛍石に起因する直線偏光の偏光状態の変化を回避することが好ましい。

【0112】

また、上述の説明では、蛍石により形成された光透過部材を透過する直線偏光の偏光状態の変化を回避するために、光の進行方向が結晶方位 $\langle 110 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 111 \rangle$ または結晶方位 $\langle 100 \rangle$ に近くなるように設定している。しかしながら、蛍石に限定されることなく、たとえばフッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化マグネシウムのような立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材に対しても同様の設定を行うことにより、当該結晶材料に起因する直線偏光の偏光状態の変化を回避することができる。

また、上述の説明では、蛍石などの立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材を透過する直線偏光の偏光面の変化を回避するために、当該結晶材料の結晶方位の設定を行っている。この手法に代えて、あるいはこの手法に加えて、立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材を、たとえば米国特許公開 US 2002/0163741A 号（あるいは WO 02/16993 号公報）に開示される手法を用いてキネマティックに保持しても良い。これにより、蛍石などの立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材にエネルギー密度が高い光が通過する際に生じる熱に起因して当該光透過部材が膨張（収縮）した場合であっても、この光透過部材に生じる応力複屈折の発生を抑えることが可能となり、この光透過部材を透過する直線偏光の偏光面の変化を抑えることが可能となる。

【0113】

ところで、図 9 に示すビームマッチングユニット BMU には、複数（図 9 では例示的に 6 つ）の直角プリズム 33～38 が配置されている。一般に、レーザ光源 1 が KrF エキシマレーザ光源であっても ArF エキシマレーザ光源であっても、裏面反射鏡としての直角プリズムに直線偏光が入射する場合、入射する直線偏光の偏光面が P 偏光面または S 偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わってしまう。本実施形態の偏光状態切換手段 42 では、直線偏光が入射することを前提としており、楕円偏光が入射すると所要の作用を奏することができない。

【0114】

そこで、本実施形態では、図 11 に示すように、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光

に変換するための第2位相部材として、たとえば光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/4波長板11を、偏光状態切換手段42において1/2波長板10の光源側(図中左側)に付設することが好ましい。この場合、たとえば直角プリズムに起因して楕円偏光が偏光状態切換手段42に入射することがあっても、入射する楕円偏光の特性に応じて1/4波長板11の結晶光学軸を設定することにより、1/2波長板10に直線偏光を入射させて偏光状態切換手段42の本来の動作を維持することができる。なお、図11では、1/2波長板10の光源側に1/4波長板11を配置しているが、1/2波長板10のマスク側(図中右側)に1/4波長板11を配置することもできる。

【0115】

なお、上述の説明では、蛍石により形成された光透過部材を透過する直線偏光の偏光状態の変化を回避する手法、および直角プリズムなどに起因して楕円偏光が入射しても偏光状態切換手段の本来の動作を維持する手法を、図1～図4に関連する本実施形態に適用している。しかしながら、これに限定されることなく、図5～図8に関連する変形例に対しても同様に、これらの手法を適用することができる。

【0116】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク(レチクル)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板上に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図12のフローチャートを参照して説明する。

【0117】

まず、図12のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0118】

また、上述の実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図13のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図13において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0119】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実

行される。セル組み立て工程 403 では、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

【0120】

セル組み立て工程 403 では、例えば、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0121】

なお、上述の実施形態では、コンデンサー光学系 9 によって二次光源からの光を集光して重畳的にマスク M を照明している。しかしながら、これに限定されることなく、コンデンサー光学系 9 とマスク M との間の光路中に、照明視野絞り（マスクブラインド）と、この照明視野絞りの像をマスク M 上に形成するリレー光学系とを配置しても良い。この場合、コンデンサー光学系 9 は、二次光源からの光を集光して重畳的に照明視野絞りを照明することになり、リレー光学系は照明視野絞りの開口部（光透過部）の像をマスク M 上に形成することになる。

【0122】

また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を 1.1 よりも大きな屈折率を有する媒体（典型的には液体）で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開番号 WO99/49504 号公報に開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平 6-124873 号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平 10-303114 号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。

【0123】

なお、液体としては、露光光に対する透過性がある程度だけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトリソグに対して安定なものをを用いることが好ましく、たとえば KrF エキシマレーザ光や ArF エキシマレーザ光を露光光とする場合には、液体として純水、脱イオン水を用いることができる。また、露光光として F₂ レーザ光を用いる場合は、液体としては F₂ レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル（PFPE）等のフッ素系の液体を用いればよい。

【0124】

また、上述の実施形態では、露光光として KrF エキシマレーザ光（波長：248 nm）や ArF エキシマレーザ光（波長：193 nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長 157 nm のレーザ光を供給する F₂ レーザ光源や、レーザ光源以外の光源、例えば i 線や g 線、h 線等の紫外光を供給するランプ光源に対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図 1】本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。


【図 2】輪帯照明および 4 極照明において形成される輪帯状の二次光源および 4 極状の二次光源を示す図である。

【図 3】2 極照明において形成される 2 極状の二次光源を示す図である。

- 【図 4】図 1 の位相部材およびデポライザの構成を概略的に示す図である。
- 【図 5】第 1 変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。
- 【図 6】第 2 変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。
- 【図 7】第 3 変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。
- 【図 8】変形例にかかるデポライザの構成を概略的に示す図である。
- 【図 9】図 1 において光源と偏光状態切換手段との間に配置されるビームマッチングユニットの内部構成を概略的に示す図である。
- 【図 10】蛍石の結晶方位について説明する図である。
- 【図 11】偏光状態切換手段において楕円偏光を直線偏光に変換するための $1/4$ 波長板を付設した例を概略的に示す図である。
- 【図 12】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。
- 【図 13】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。
- 【図 14】直線偏光の入射光が複屈折性の媒質中を通過する際に光の偏光状態が変化する様子を示す図である。
- 【図 15】図 10 に対応する図であって、蛍石の結晶方位を別の表現方法にしたがって説明する図である。
- 【図 16】結晶方位を $[001]$ と $[110]$ との間で変化させて当該結晶方位に沿って ArF エキシマレーザ光を入射させたときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。
- 【図 17】結晶方位を $[001]$ と $[100]$ との間で変化させて当該結晶方位に沿って ArF エキシマレーザ光を入射させたときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。
- 【図 18】図 16 に対応する図であって、入射光のエネルギー密度が極めて高いときの蛍石における複屈折変動量の変化を模式的に示す図である。
- 【図 19】直角プリズムにおける結晶方位の設定に関する一例について説明する図である。
- 【図 20】直角プリズムにおける結晶方位の設定に関する別の一例について説明する図である。
- 【図 21】直角プリズムにおける結晶方位の設定に関するさらに別の一例について説明する図である。
- 【図 22】直角プリズムにおける結晶方位の設定に関するさらに別の一例について説明する図である。
- 【図 23】結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の方向から見た各結晶方位の配置を説明する図である。
- 【図 24】結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方向から見た各結晶方位の配置を説明する図である。

【符号の説明】

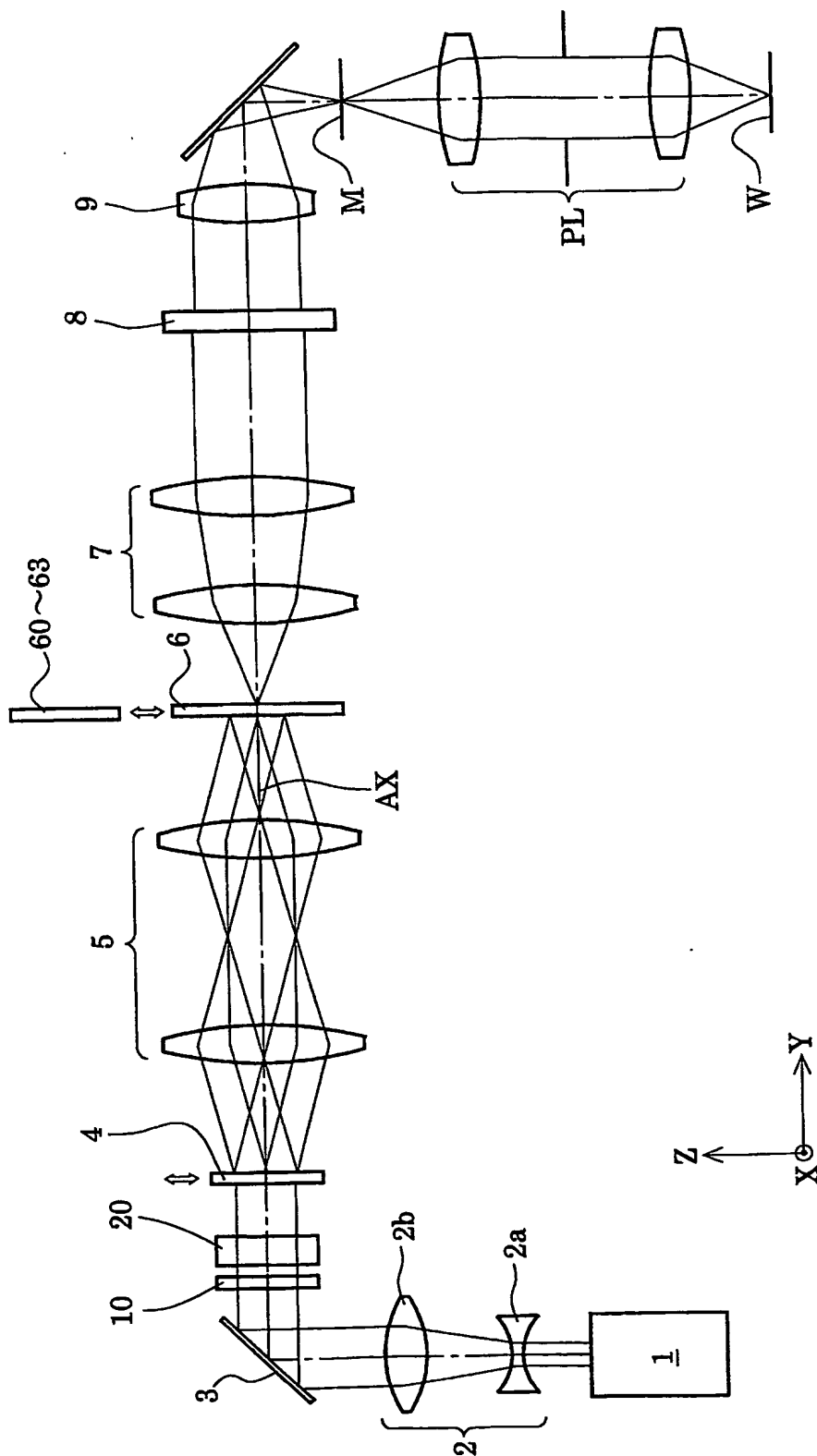
- 【0126】
- 1 レーザ光源
 - 4 回折光学素子 (オプティカルインテグレータ)
 - 5 アフォーカルズームレンズ
 - 6, 60~63 回折光学素子
 - 7 ズームレンズ
 - 8 マイクロレンズアレイ (フライアイレンズ)
 - 9 コンデンサー光学系
 - 10 位相部材 ($1/2$ 波長板)
 - 20, 21 デポライザ
 - 20a 水晶プリズム



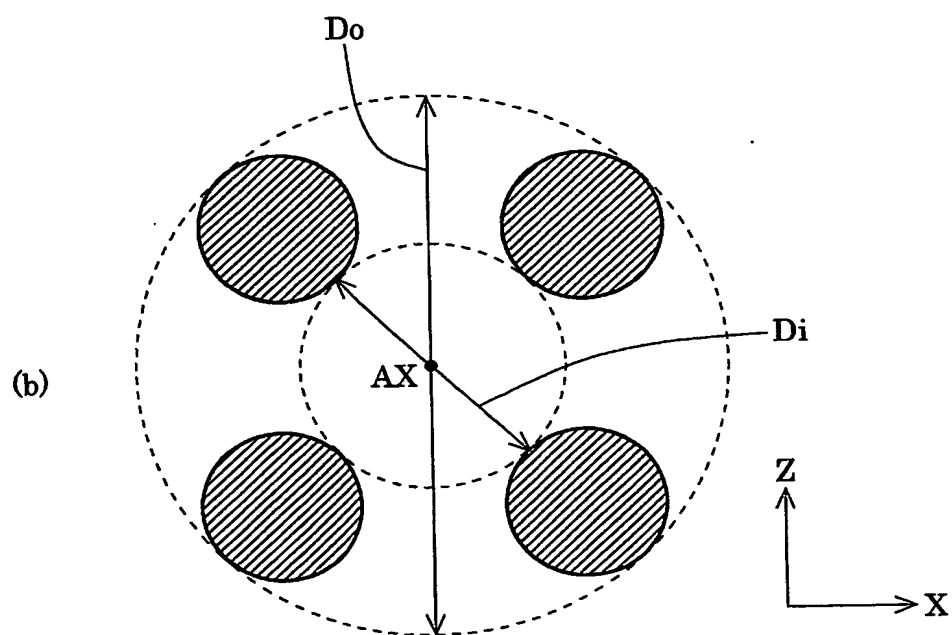
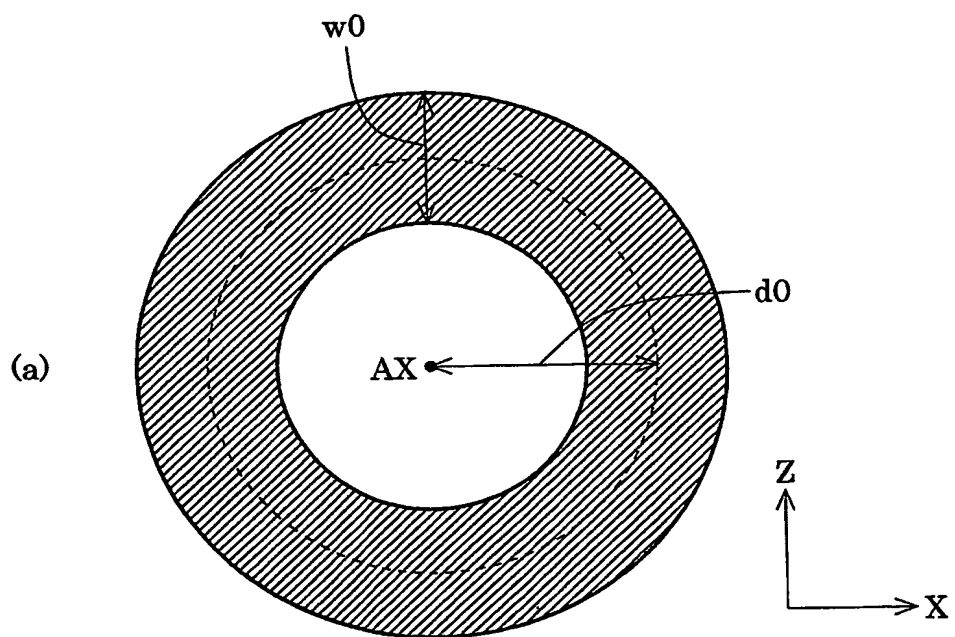
2 0 b 石英プリズム
2 1 a 偏光ビームスプリッター
M マスク
P L 投影光学系
W ウェハ

【書類名】 図面

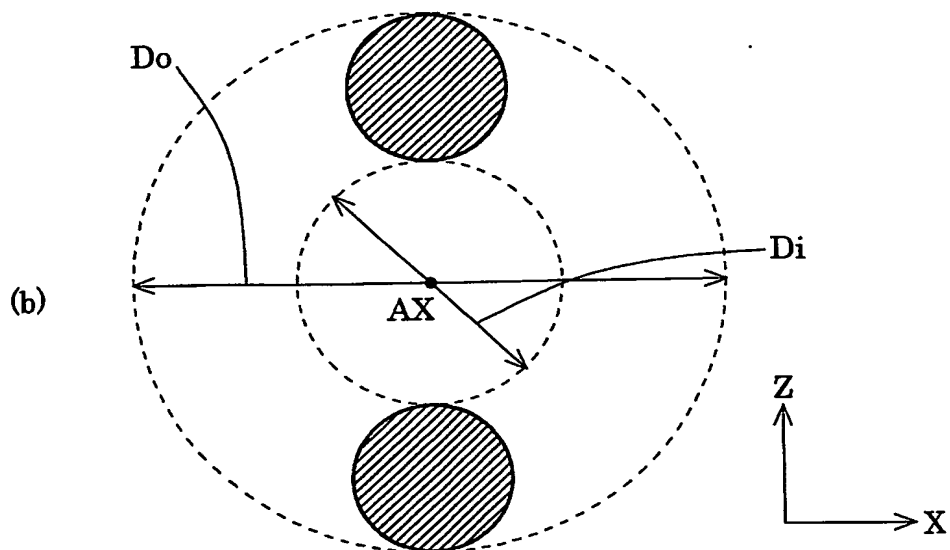
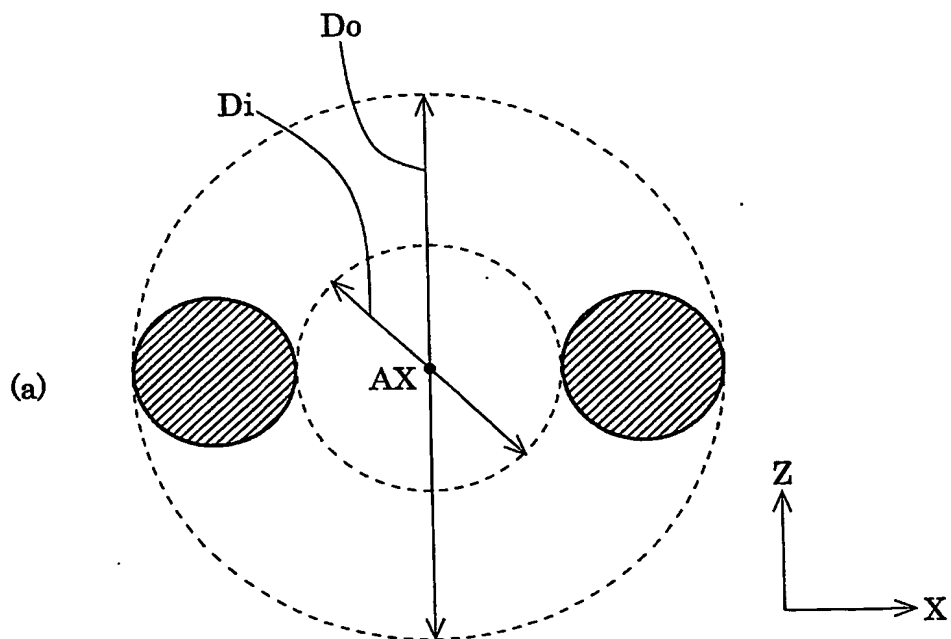
【図 1】



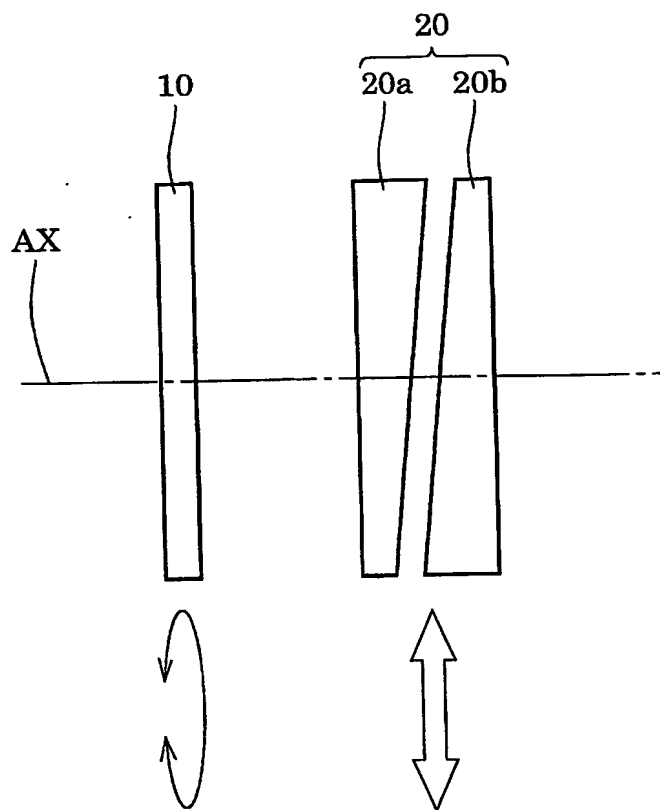
【図 2】



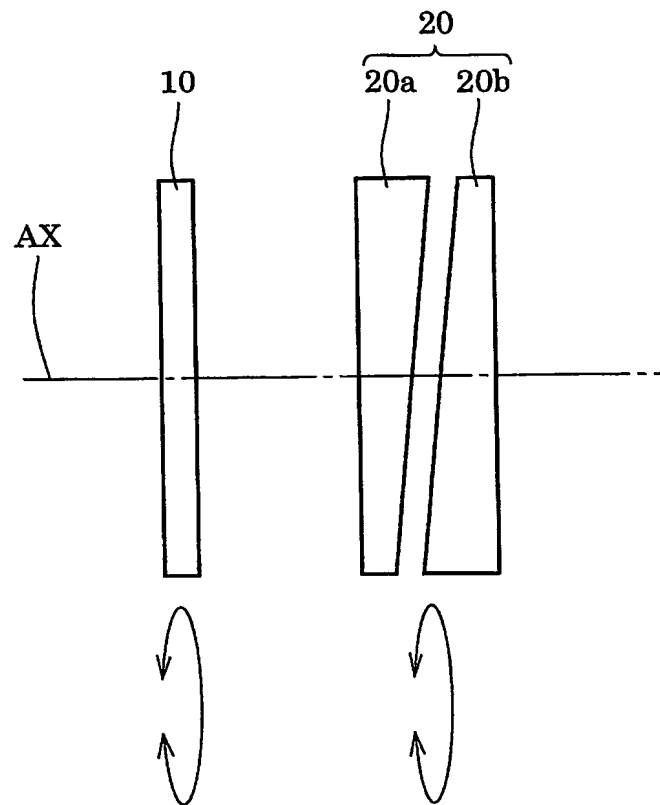
【図 3】



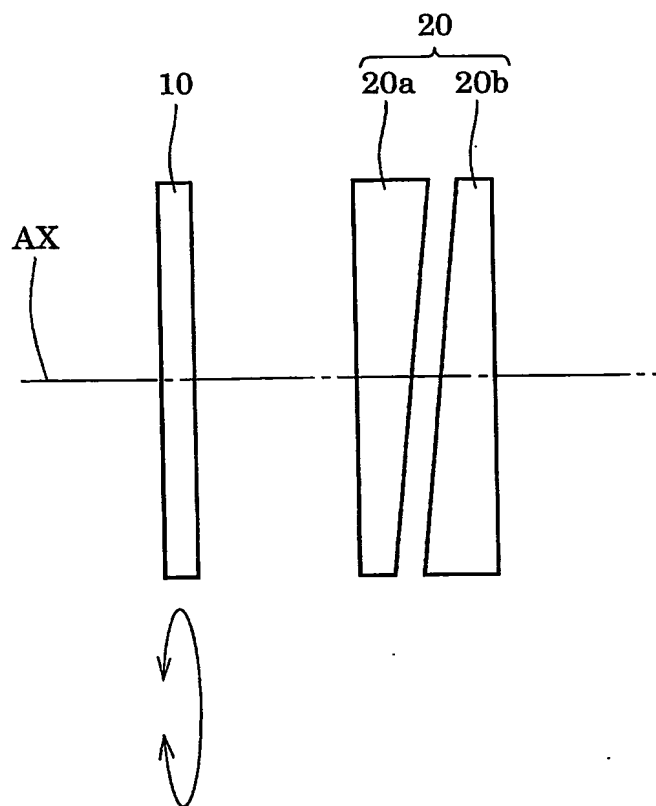
【図 4】



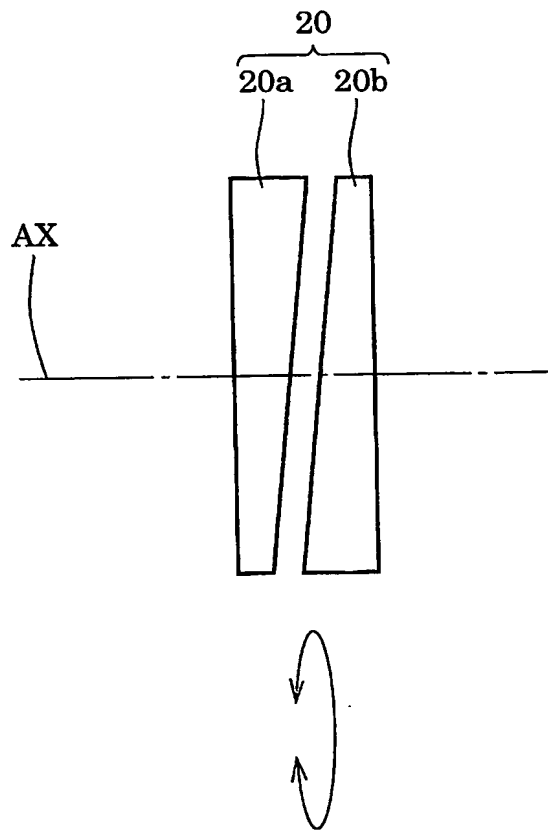
【図 5】



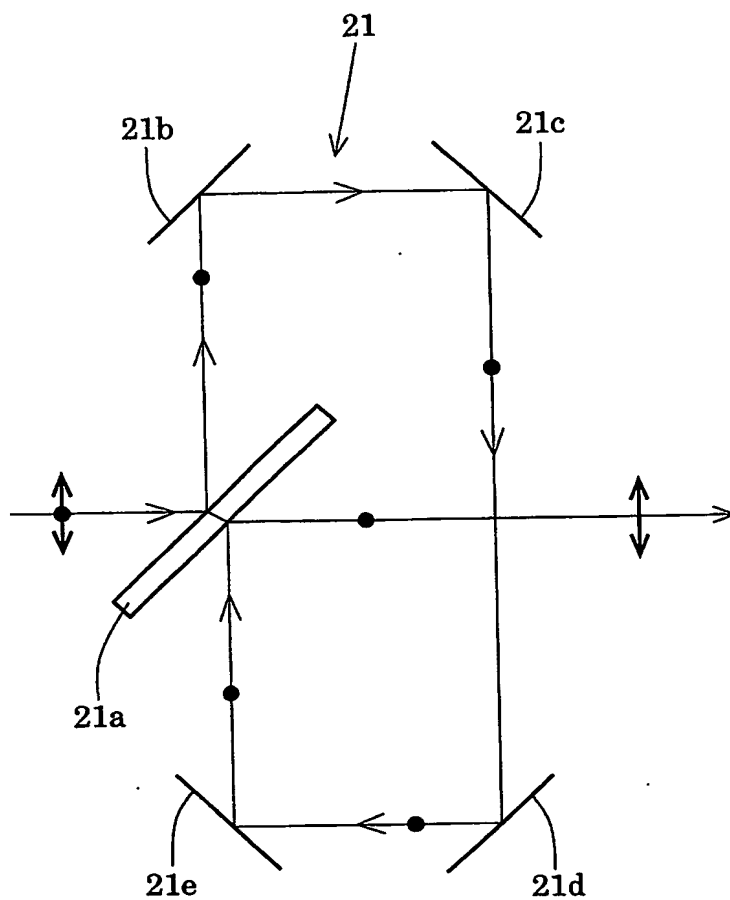
【図 6】



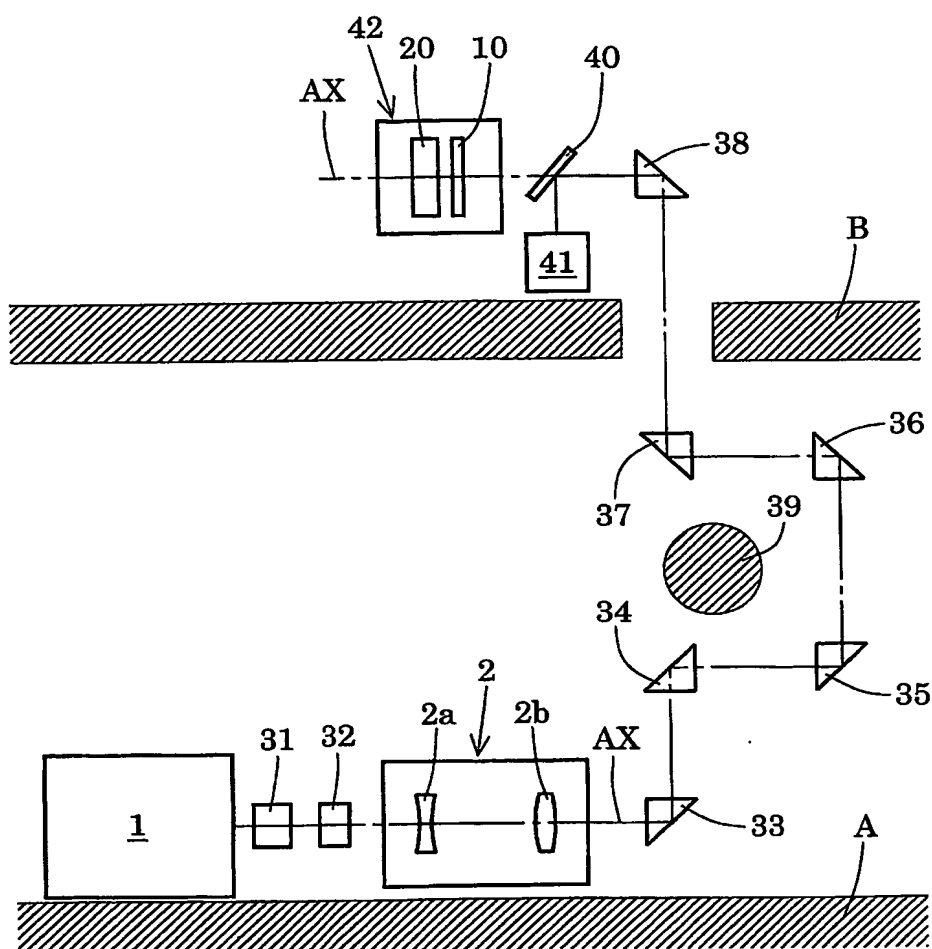
【図 7】



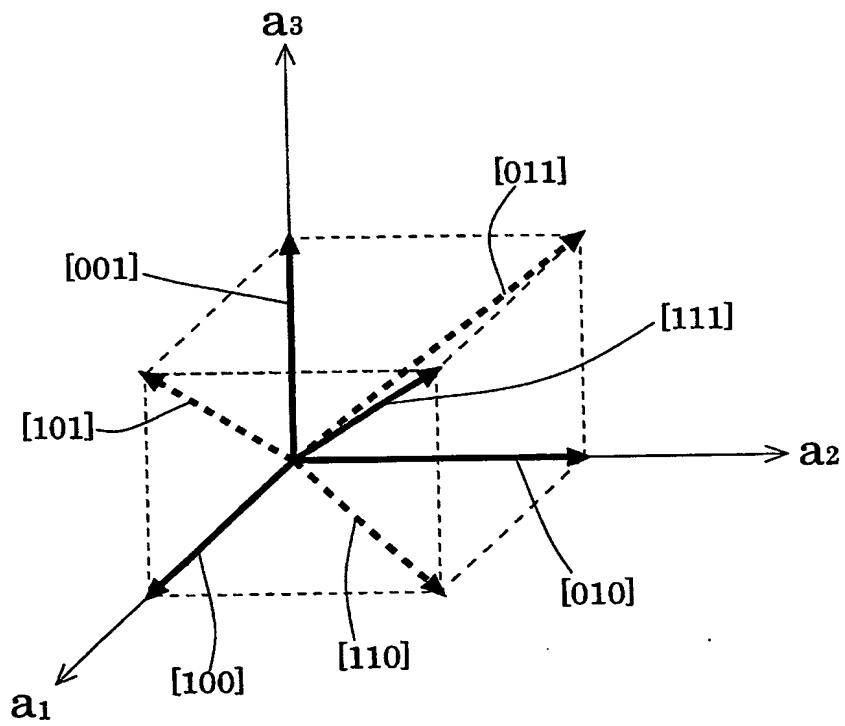
【図 8】



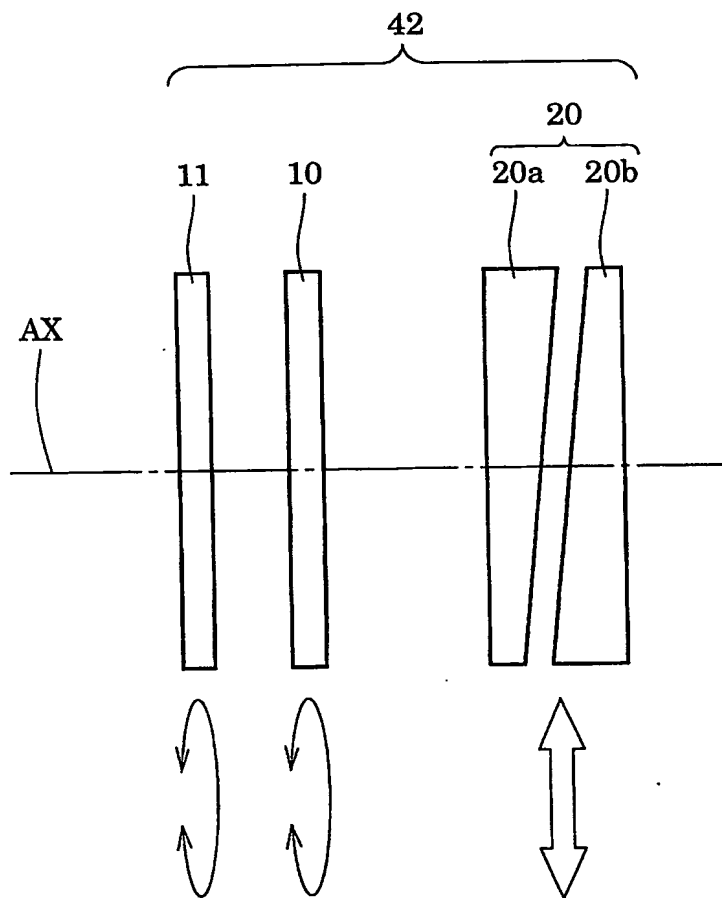
【図 9】



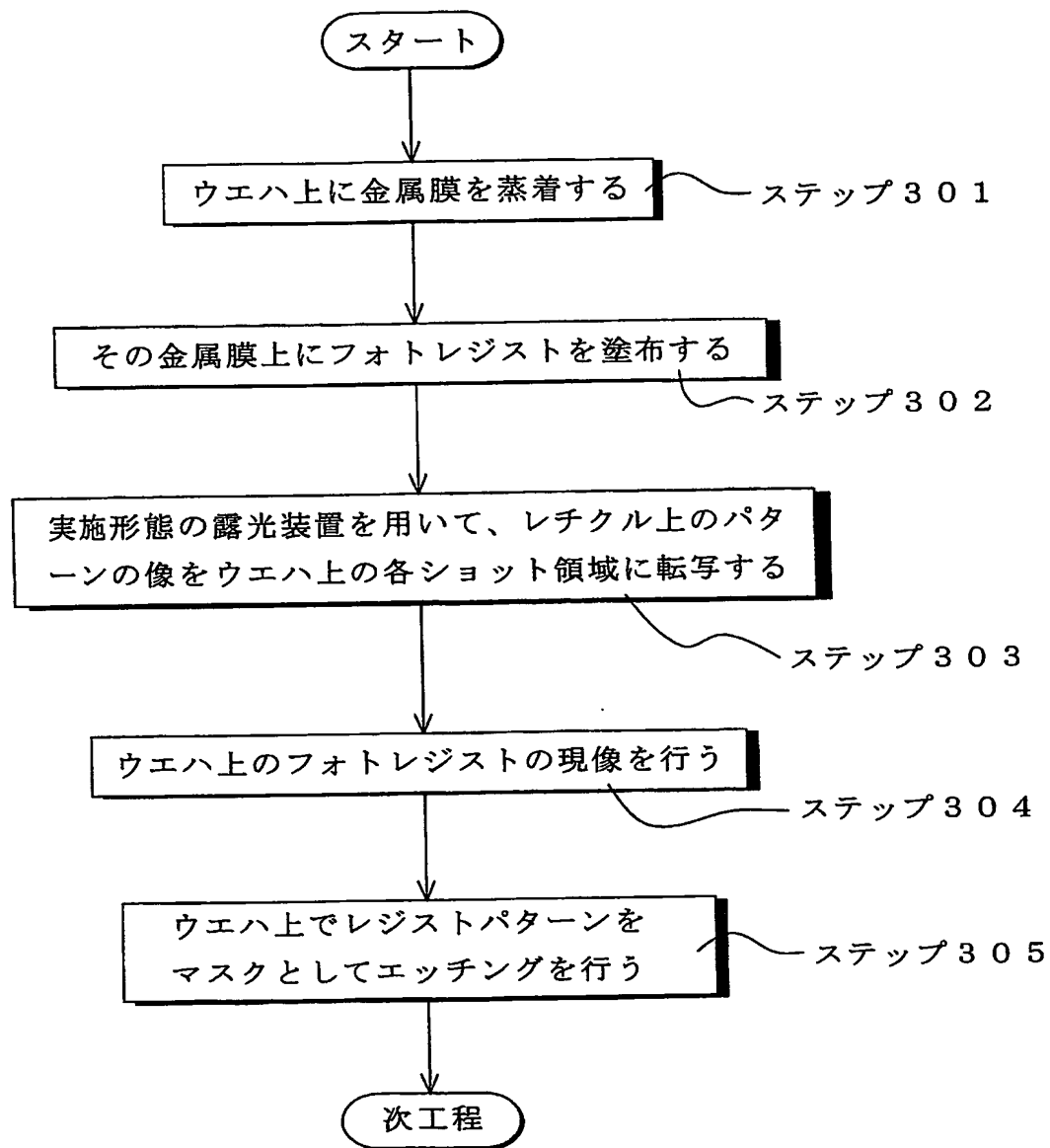
【図 10】



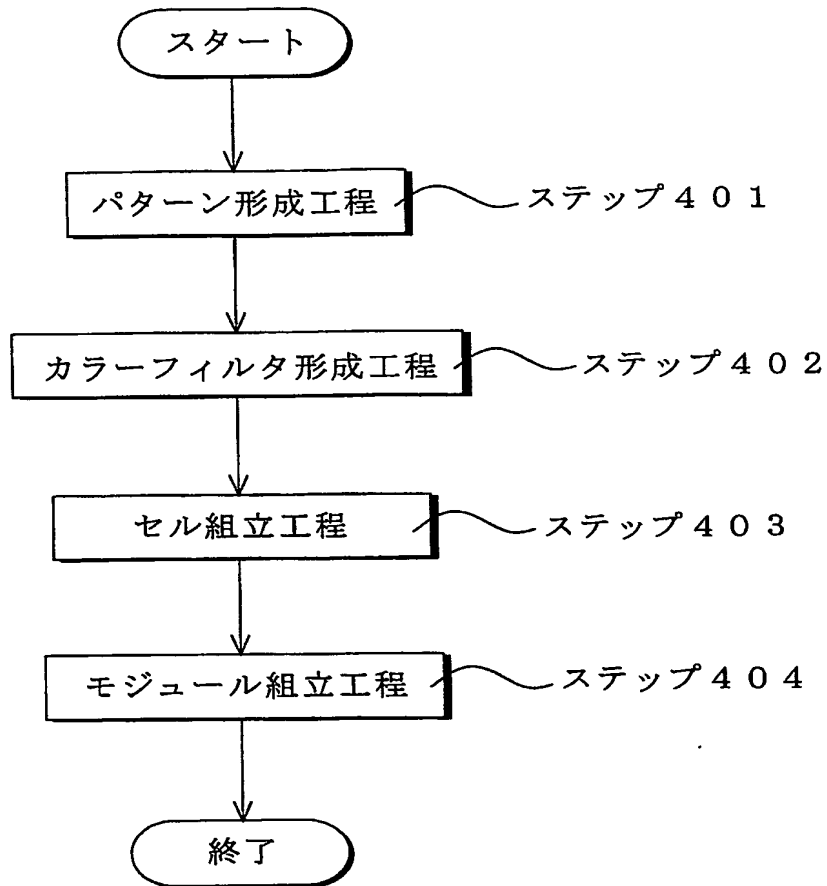
【図 11】



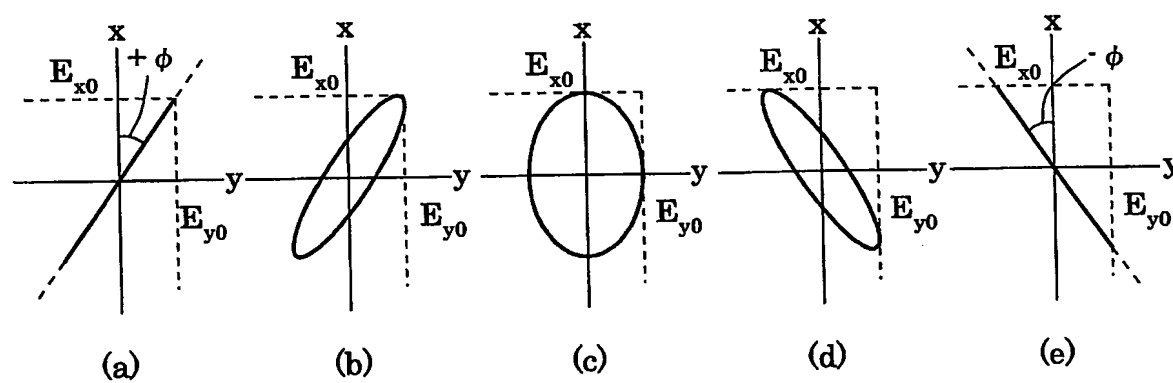
【図 12】



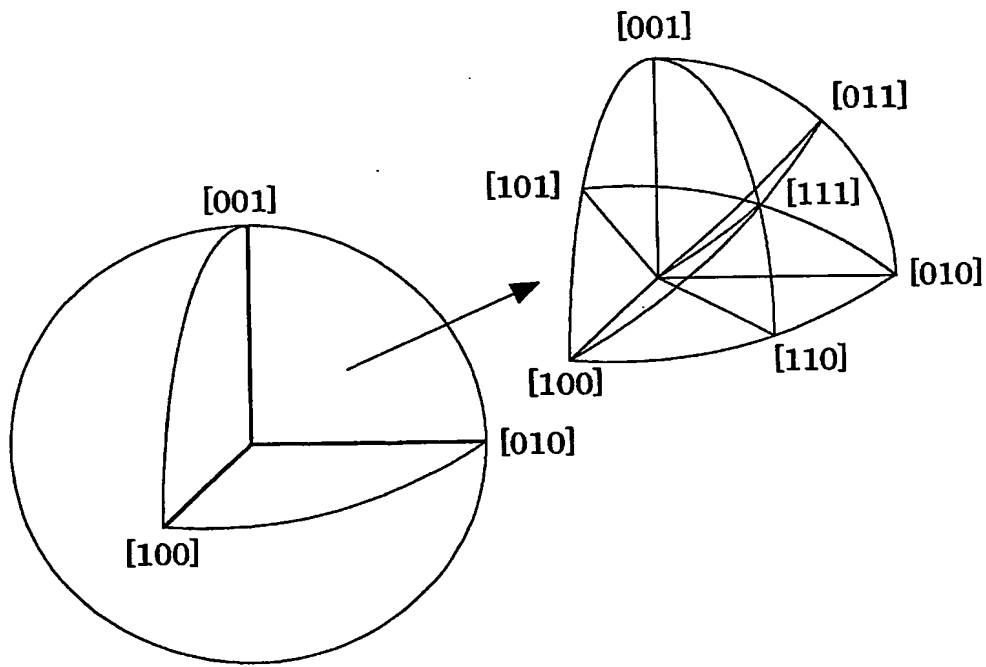
【図 13】



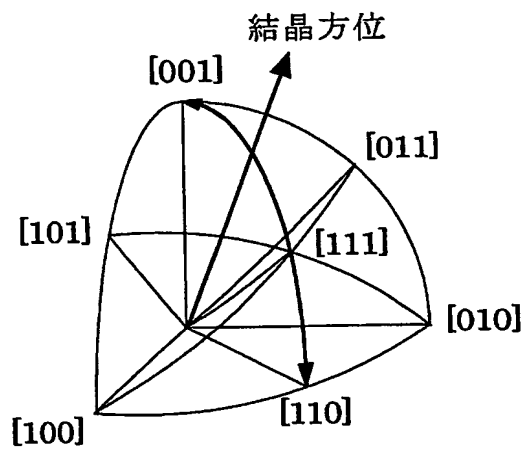
【図 14】



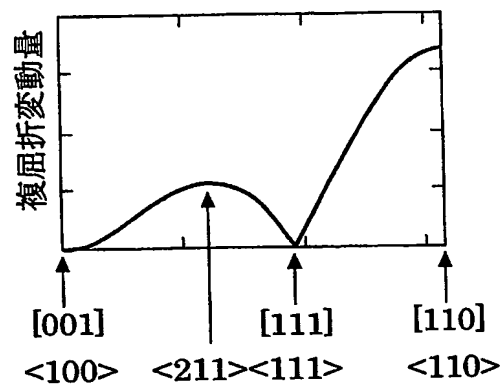
【図 15】



【図 16】

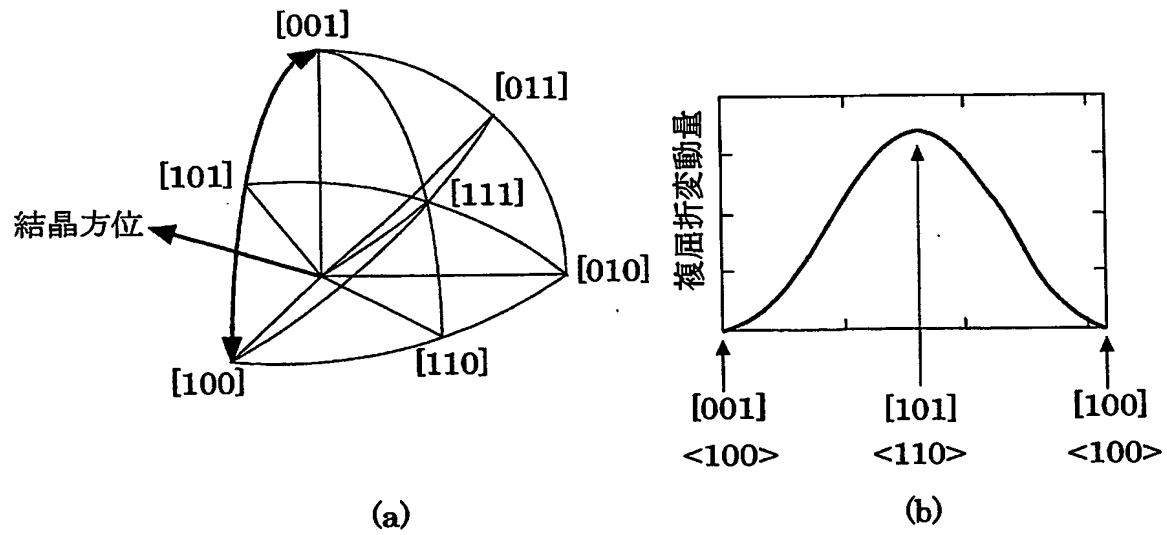


(a)

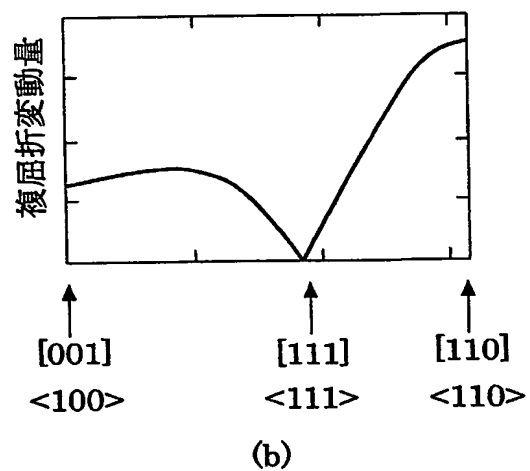
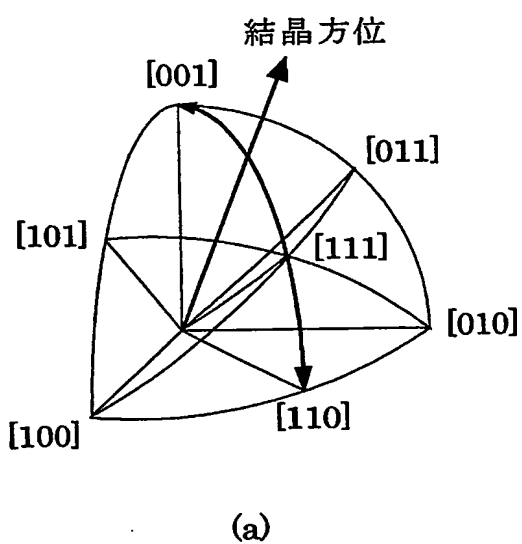


(b)

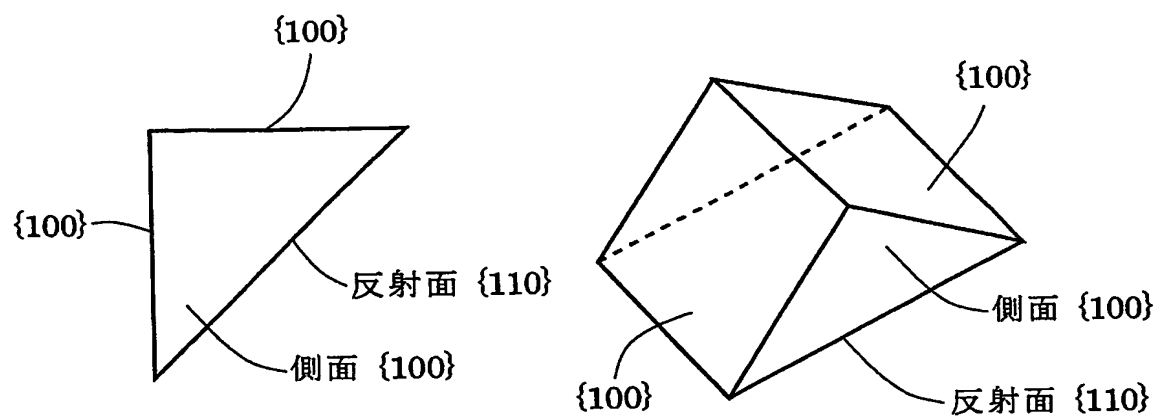
【図 17】



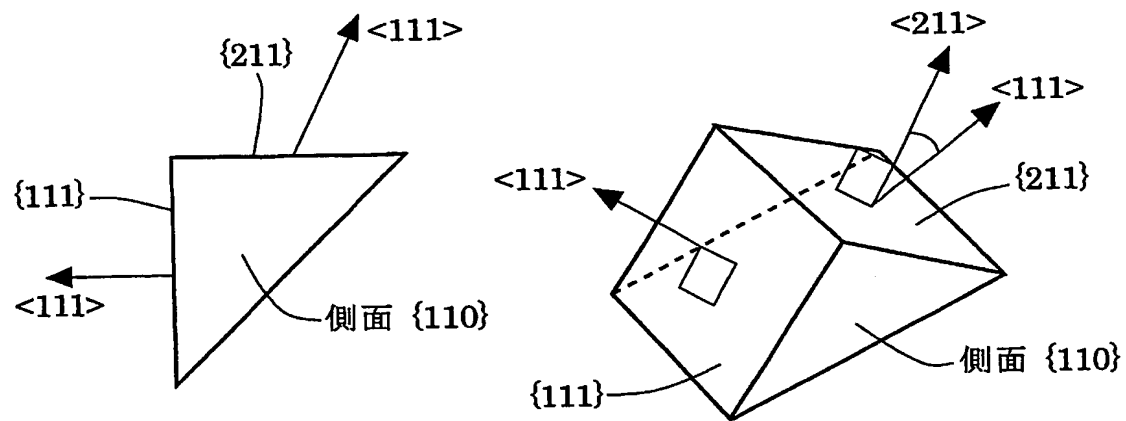
【図 18】



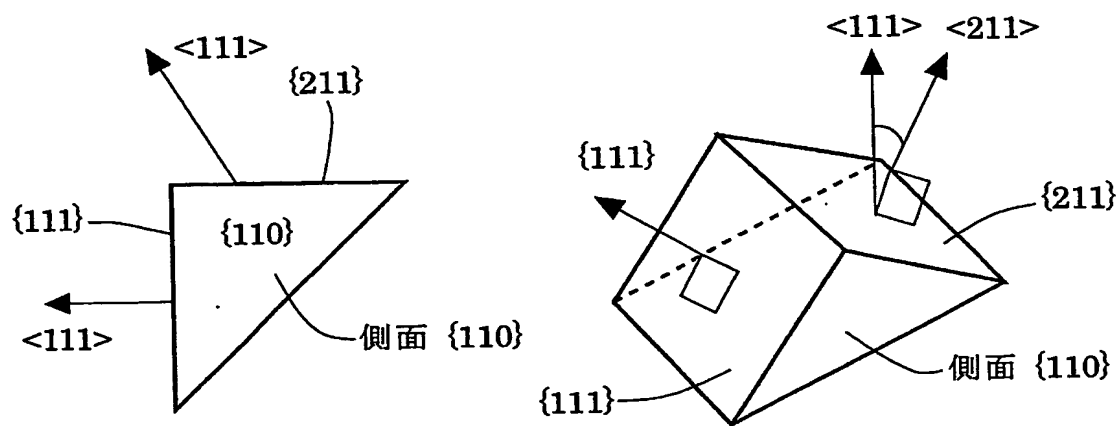
【図19】



【図 20】

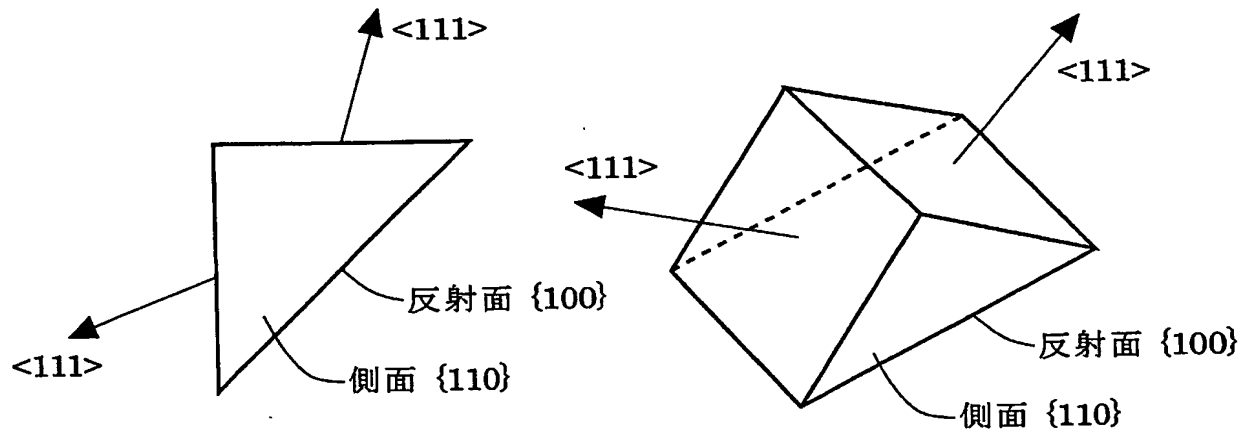


(a)

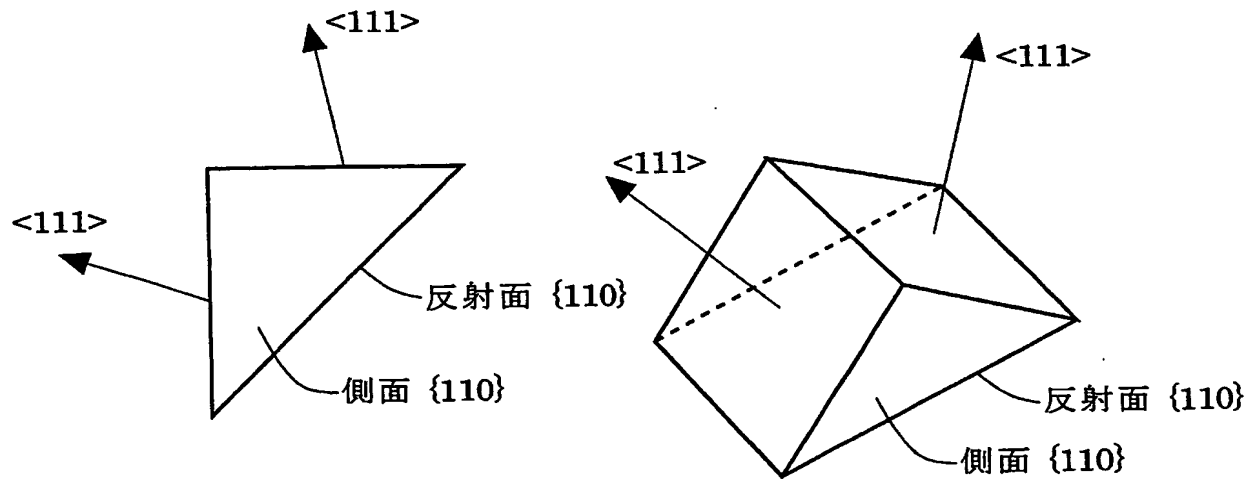


(b)

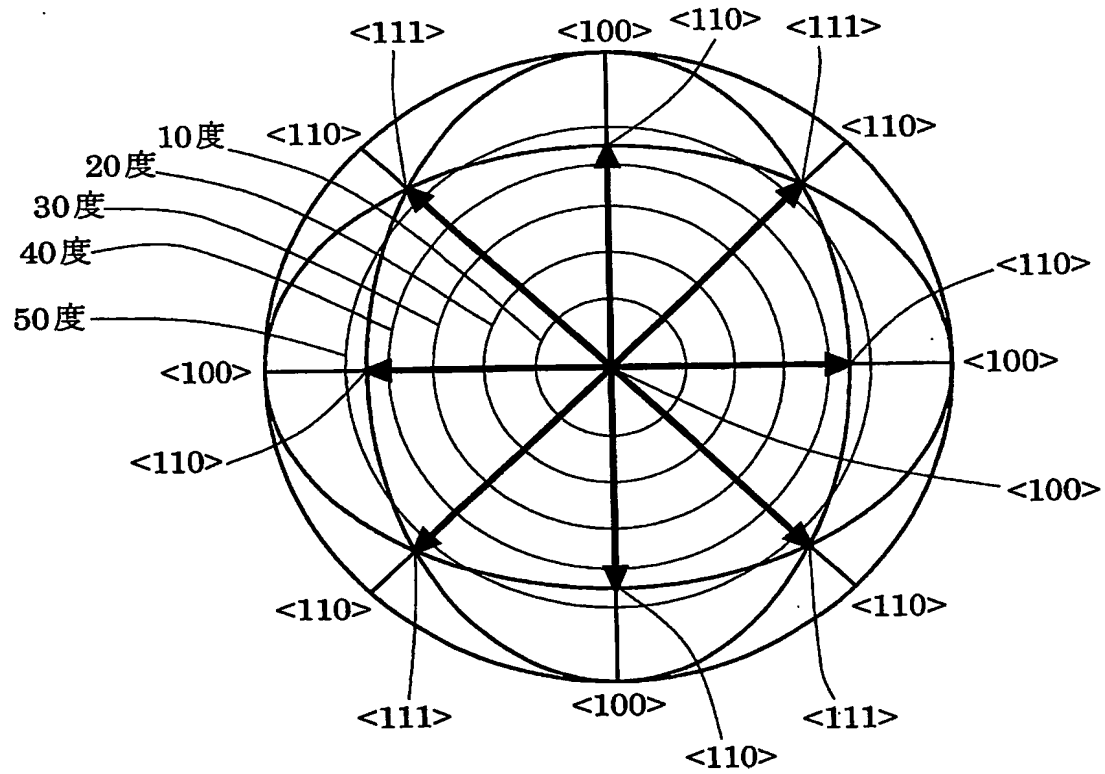
【図 21】



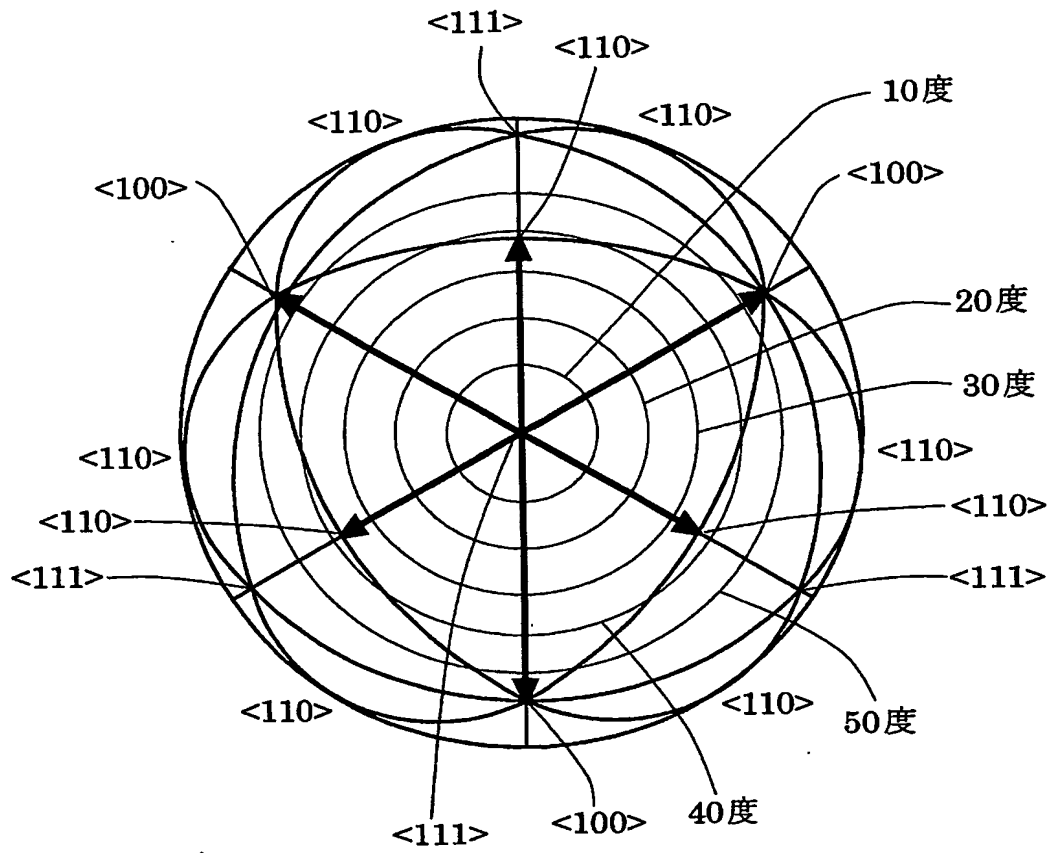
【図 22】



【図 23】



【図 24】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 たとえば露光装置に搭載された場合に、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することのできる照明光学装置。

【解決手段】 直線偏光の光を供給する光源部（１）を有し、光源部からの光で被照射面（M，W）を照明する照明光学装置。光源部と被照射面との間の光路中に配置されて、被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段（１０，２０）を備えている。偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材（１０）と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザ（２０）とを有する。

【選択図】 図１

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 3 3 8 4 4 6
受付番号	5 0 3 0 1 6 1 0 2 0 2
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 5 年 1 0 月 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成15年 9月29日



特願 2 0 0 3 - 3 3 8 4 4 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

氏 名

株式会社ニコン